

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7362604号
(P7362604)

(45)発行日 令和5年10月17日(2023.10.17)

(24)登録日 令和5年10月6日(2023.10.6)

(51)国際特許分類

F I

B 0 1 D 53/26 (2006.01)

B 0 1 D 53/26 2 3 0

B 0 1 J 20/22 (2006.01)

B 0 1 J 20/22 A

B 0 1 J 20/34 (2006.01)

B 0 1 J 20/34 H

B 0 1 D 53/28 (2006.01)

B 0 1 D 53/28

H 0 5 B 6/02 (2006.01)

H 0 5 B 6/02 Z

請求項の数 20 (全73頁)

(21)出願番号 特願2020-528116(P2020-528116)

(86)(22)出願日 令和1年8月16日(2019.8.16)

(65)公表番号 特表2021-533972(P2021-533972
A)

(43)公表日 令和3年12月9日(2021.12.9)

(86)国際出願番号 PCT/AU2019/050860

(87)国際公開番号 WO2020/034008

(87)国際公開日 令和2年2月20日(2020.2.20)

審査請求日 令和4年8月12日(2022.8.12)

(31)優先権主張番号 2018903009

(32)優先日 平成30年8月16日(2018.8.16)

(33)優先権主張国・地域又は機関
オーストラリア(AU)

(73)特許権者 590003283

コモンウェルス サイエントフィック
アンド インダストリアル リサーチ オ
ーガナイゼーションオーストラリア 2 6 0 1 オーストラリア
ン・キャピタル・テリトリー、アクトン
、クルーニーズ・ロス・ストリート

(74)代理人 100108453

弁理士 村山 靖彦

(74)代理人 100110364

弁理士 実広 信哉

(74)代理人 100133400

弁理士 阿部 達彦

(72)発明者 クサヴィエ・ムレット

オーストラリア・2 6 0 1・オーストラ
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 金属有機構造体ベースの水捕捉装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

水含有ガスから水分を捕捉するための装置であって、
前記装置が：

前記水含有ガスが流入することができる入口を有するハウジングと；

前記ハウジング内に封入された水吸着剤であって、前記水含有ガスから水分を吸着することができる少なくとも1つの水吸着性金属有機構造体複合材を含み、前記金属有機構造体複合材が、少なくとも50重量%の水吸着性金属有機構造体と、親水性セルロース誘導体を含む少なくとも0.1重量%の親水性バインダと、を含む、水吸着剤と、

前記水吸着剤と接触するおおよび／または前記水吸着剤を囲む水脱着装置であって、前記水吸着剤と直接熱伝導性接触している少なくとも1つの熱伝達装置を含み、前記水吸着剤が、前記熱伝達装置の少なくとも一部の中に収容されるか、または前記熱伝達装置の少なくとも一部の上に被覆され、前記水脱着装置が、(i)不活性化状態と、(ii)前記装置が前記水吸着剤に熱、減圧、またはそれらの組み合わせを加えて前記水吸着剤から水分を脱着するように構成された活性化状態との間で選択的に動作可能である、水脱着装置と、を備える装置。

【請求項2】

前記親水性バインダが、アルキルセルロース、ヒドロキシアルキルセルロース、またはカルボキシアルキルセルロース誘導体を含む、請求項1に記載の装置。

【請求項3】

前記親水性バインダが、ヒドロキシプロピルセルロース（HPC）、ヒドロキシプロピルセルロース、ヒドロキシエチルメチルセルロース、ヒドロキシプロピルメチルセルロース（HPMC）、エチルヒドロキシエチルセルロース、メチルセルロース、またはカルボキシメチルセルロース（CMC）のうちの少なくとも1つから選択される、請求項2に記載の装置。

【請求項4】

前記熱伝達装置が、加熱デバイスと熱伝導性接触している、請求項1から3のいずれか一項に記載の装置。

【請求項5】

前記熱伝達装置が、前記加熱デバイスから前記水吸着剤まで延在する少なくとも1つの熱伝達素子を含む、請求項4に記載の装置。

10

【請求項6】

前記加熱デバイスは、少なくとも1つのペルチェ素子を含む、請求項4または5に記載の装置。

【請求項7】

各ペルチェ素子が、高温側および低温側を有し、各ペルチェ素子の前記低温側が少なくとも1つの熱伝達装置と熱的に連通している、請求項6に記載の装置。

【請求項8】

前記ペルチェ素子は、充填床を少なくとも50℃に加熱することができる、請求項6又は7に記載の装置。

20

【請求項9】

前記熱伝達装置が、プレートまたはフィン装置を有するヒートシンクを含む、請求項1から8のいずれか一項に記載の装置。

【請求項10】

前記熱伝達装置が、複数の離間した熱伝達素子を含み、前記水吸着剤が、少なくとも2つの熱伝達素子の間に充填床として収容される、請求項1から9のいずれか一項に記載の装置。

【請求項11】

前記水吸着剤が、少なくとも50重量%の水吸着性金属有機構造体と、200nm未満の平均粒径を有する0.2～10重量%の磁性粒子との混合物を含む成形された水吸着性複合体から形成され、

30

前記水脱着装置が、前記水吸着剤にAC磁場を印加するように構成された、前記水吸着剤の内部および／または周囲に位置する交流（AC）磁場発生器を含む、請求項1から3のいずれか一項に記載の装置。

【請求項12】

前記交流磁場発生器が、成形された水吸着性複合体の充填床の内部および／または周囲に位置する少なくとも1つの誘導コイルを含む、請求項11に記載の装置。

【請求項13】

前記金属有機構造体複合材が、前記水脱着装置の表面に適用されたコーティングを含む、請求項1から12のいずれか一項に記載の装置。

40

【請求項14】

前記金属有機構造体複合材が、0.5mmより大きい少なくとも1つの平均寸法を有する成形された水吸着性複合体を含む、請求項1から13のいずれか一項に記載の装置。

【請求項15】

前記成形された水吸着性複合体が、円形または正多角形の断面形状を有する細長い本体を含む、請求項14に記載の装置。

【請求項16】

前記水吸着性金属有機構造体が、フマル酸アルミニウム、MOF-801、MOF-841、Co₂Cl₂BTDDを含むM₂Cl₂BTDD、Cr-soc-MOF-1、MIL-101（Cr）、CAU-10、アルカリ金属（Li⁺、Na⁺）ドーピングMIL-1

50

01 (Cr)、MOF-303、MOF-573、MOF-802、MOF-805、MOF-806、MOF-808、MOF-812、またはそれらの混合物のうちの少なくとも1つを含む、請求項1から15のいずれか一項に記載の装置。

【請求項17】

前記水吸着性金属有機構造体が、 Fe^{3+} 、 Li^{+} 、 Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Zr^{4+} 、 Al^{3+} 、 K^{+} 、 Mg^{2+} 、 Ti^{4+} 、 Cu^{2+} 、 Mn^{2+} から Mn^{7+} 、 Ag^{+} 、またはそれらの組み合わせから選択される金属イオンを含む、請求項1から16のいずれか一項に記載の装置。

【請求項18】

0.2～5重量%の親水性バインダを含む、請求項1から17のいずれか一項に記載の装置。

10

【請求項19】

水含有ガスから水分を捕捉する方法であって、

水吸着剤が水含有ガスから水を吸着するように、ハウジングの入口を通して、前記ハウジング内に封入された前記水吸着剤の上に前記水含有ガスを供給するステップであって、前記水吸着剤が、前記水含有ガスから水分を吸着することが可能な少なくとも1つの水吸着性金属有機構造体複合材を含み、前記金属有機構造体複合材が、少なくとも50重量%の水吸着性金属有機構造体と、親水性セルロース誘導体を含む少なくとも0.1重量%の親水性バインダと、を含む、ステップと、

少なくとも1つの水脱着装置を動作させて、不活性状態から活性化状態に変化させて、熱、減圧、またはそれらの組み合わせを前記水吸着剤に加えて、前記吸着された水の少なくとも一部をそこから生成物流体流れに放出するステップと、

20

前記生成物流体流れを凝縮器システムに向かわせて、前記生成物流体流れから水分を分離するステップと、

のうちの少なくとも1つのサイクルを含み、

前記水脱着装置が、前記水吸着剤と接触しているおよび／または前記水吸着剤を囲んでいる、方法。

【請求項20】

前記少なくとも1つの水脱着装置を動作させるステップが；

少なくとも1つのペルチェ素子を動作させて、水吸着剤を加熱して、前記吸着された水の少なくとも一部をそこから前記生成物流体流れ内に放出するステップ；又は、

30

成形された水吸着性複合体の充填床に交流磁場を印加し、それによって、前記成形された水吸着性複体内に熱を発生させ、そこから前記吸着された水の少なくとも一部を生成物流体流れに放出するステップであって、前記成形された水吸着性複合材が、少なくとも50重量%の水吸着性金属有機構造体と；少なくとも0.1重量%の親水性バインダと、200nm未満の平均粒径を有する0.2～10重量%の磁性粒子とを含む、ステップ；

のうちの1つを含む、請求項19に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

40

優先権の相互参照

【001】本出願は、2018年8月16日に出願されたオーストラリア仮特許出願第2018903009号の条約の優先権を主張するものであり、その内容はこの参照により本明細書に組み込まれるものと理解されるべきである。

【背景技術】

【0002】

【002】本発明は、一般に、大気などの水含有ガスの水分を捕捉するために水吸着性金属有機構造体複合材を利用する装置、方法、およびシステムに関する。1つの形態では、本発明は、温度スイング採水のために構成される。別の形態では、本発明は、磁気構造体複合材(MFC)－金属有機構造体と磁性材料との間に形成された複合材料、を使用し

50

た磁気誘導スイング採水のために構成され得る。しかしながら、本発明は、水吸着性金属有機構造体複合材料を利用する他の採水用途に使用できることを理解されたい。

【0003】

【003】本発明の背景に関する以下の説明は、本発明の理解を容易にすることを意図している。しかしながら、この議論は、言及された材料のいずれかが、本出願の優先日において公開されたか、既知であるか、または共通の一般知識の一部であることの同意または承認ではないことが理解されるべきである。

【0004】

【004】水は、世界の多くの地域、特に乾燥または乾いた環境において、絶縁資源となり得る。しかしながら、大気中の水蒸気および水滴は、水の世界的な供給を増加させるために捕捉され得る天然資源である。

10

【0005】

【005】例えば、太陽または他の外部手段を使用して吸着材料を加熱することによって、水を捕捉および放出することができる吸着材料を含有する、種々の大気水捕捉システムが以前に開発されている。

【0006】

【006】水蒸気を吸着することができる吸着材料の1つのタイプは、金属有機構造体(MOF)である。水分を吸着することができる多数のMOFが知られている。これらの既知のMOF吸着剤は、MOFの細孔内の表面上に水を物理吸着する。

【0007】

【007】MOFは、ガス貯蔵、分離、および除湿を含む多数の用途において既に検討されているが、水捕捉のためのMOFの使用は、ごく最近になって提案された。

20

【0008】

【008】MOFベースの水捕捉の一例は、Yaghiらの「Water harvesting from air with metal-organic frameworks powered by natural sunlight」Science 356.6336 (2017): 430-434 (Yaghi 1)において、および、(システムのさらなる詳細を提供する)その後の刊行物であるYaghiらの「Adsorption-based atmospheric water harvesting device for arid climates」Nature communications 9.1 (2018): 1191- (Yaghi 2)において教示される。両方の論文に記載されているシステムは、低い相対湿度(RH) (35℃で20%のRHまで)を有する周囲空気中の蒸気吸着によって水を捕捉するために、多孔質金属有機構造体(微結晶粉末MOF-801、 $[Zr_6O_4(OH)_4(\text{フマル酸塩})_6]$)を利用した。MOF-801粉末を、銅基板上にろう付けされた多孔質銅発泡体内に浸透させて、~0.85の平均充填気孔率を有する1.79gの活性化MOF-801を有する吸着層を生成した。銅発泡体の形状は、寄生熱損失を低減するために、高い基板面積対厚さ比を有するように選択された。1 sun (1 kW m^{-2}) 未満の非集中太陽束を使用してMOFから水分を放出し、屋外で周囲温度で水分を生成するための追加の電力入力を必要としなかった。Yaghi 1では、脱着された蒸気におけるすべての水を凝縮するために、~1.2 kPaの等圧条件(35℃で20% RH、~10℃の飽和温度)を維持するための、(熱電「ペルチェ」装置の冷却側のみを使用する)熱電冷却器に接続された凝縮器を用いて、凝縮を駆動した。この熱電冷却器は、Yaghi 2では利用されていないようである。デバイスは、Yaghi 2において、20% RHおよび35℃で0.25 L kg/MOF/日で水を捕捉および送達することが報告された。Yaghi 2は、Yaghi 1で公表されたものよりも修正された水生成結果を提供するようであることに留意されたい。

30

40

【0009】

【009】Yaghi 1およびYaghi 2に教示された有望な結果にもかかわらず、導電性基板内に浸透されたMOFの使用は、特に直接太陽加熱を使用する脱着段階において、依然として低いエネルギー変換効率を有し得、それによって、このシステムを使用す

50

る可能な水生成の量を制限する。例えば、Y a g h i 2 は、グラムスケールで 60 % に達するエネルギー効率を報告している。このシステムにおける著しい熱損失は、銅発泡体基板の熱質量を加熱するのに必要なエネルギーに起因すると予想される。

【0010】

【010】 Y a g h i 1 および Y a g h i 2 の制限は、選択を洗練し、大気水を捕捉するための M O F 吸着剤の使用をさらに最適化する機会が依然として存在することを実証する。したがって、大気などの水含有ガスから水を吸着し、したがって捕捉するために M O F を利用する、改善されたまたは代替の水捕捉方法およびシステムを提供することが望ましい。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

【011】 本発明は、商業的および家庭用途の両方のために、空気などの水含有ガスから水を捕捉するための改善されたおよび／または代替の M O F ベースの吸着装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0012】

採水装置

【012】 本発明の第1の態様は、水含有ガスから水分を捕捉するための装置を提供する。前記装置が：

その中に（水分を有する）前記水含有ガスが流れることができる入口を有するハウジングと；

前記ハウジング内に封入された（つまり前記ハウジング内部に位置する）水吸着剤であって、前記水含有ガスから水分を吸着することができる少なくとも1つの水吸着性金属有機構造体複合材を含む、水吸着剤と；

前記水吸着剤と接触するおよび／または前記水吸着剤を囲む水脱着装置であって、（i）不活性化状態と、（i i）前記装置が前記水吸着剤に熱、減圧、またはそれらの組み合わせを加えて前記水吸着剤から水分を脱着するように構成された活性化状態との間で選択的に動作可能である、水脱着装置と、

を備える。

【0013】

【013】 本発明は、水含有ガス、例えば周囲空気から水を採取することができる装置を提供し、この装置は、水脱着装置が不活性化状態にあるときに水分を吸着するために使用することができ、次いで、水脱着装置を活性化（それを活性化状態で動作させる）ことによって水吸着剤から水を脱着するように選択的に動作させることができる M O F ベースの複合材水吸着剤を含む。「選択的に動作可能」とは、ユーザが、水脱着装置の状態を不活性化状態と活性化状態との間から能動的に変更することができることを、例えば、状態の変更を切り替えるまたはトリガすることができることを意味することを理解されたい。この能動的な変化は、駆動力、例えば、ヒータに電力を供給するための電気、圧力を低下させるための真空などを水脱着装置に供給して、デバイス（水脱着装置）を活性化状態に切り替え／動作させることによって行うことができる。駆動力の除去は、水脱着装置を不活性化状態に変化させる。

【0014】

【014】 したがって、装置は、水吸着剤の採水サイクルの吸着および脱着段階の選択的動作および制御を可能にするように構成される。この選択的動作は、有利には、例えば太陽エネルギーを利用することと比較して、金属有機構造体ベースの水吸着剤から水を脱着するためのより効率的な水脱着装置の使用を通じて、水脱着装置の効率の最適化を可能にする。いくつかの実施形態では、この選択的動作はまた、その流れに同伴されるかまたは他の方法で含有される脱着された水を含む任意の生成物ガス流れの水分の同時凝縮を達成することができる。

10

20

30

40

50

【0015】

【015】水脱着装置は、吸着された水を水吸着剤から脱着させるために熱および／または減圧が使用されるかどうかに応じて、任意の数の形態をとることができる。いくつかの実施形態では、装置は、圧力スイング吸着のために設計され、脱着は、例えば、真空ポンプを使用して圧力を低下させ、水吸着剤の周囲からガスを排出することによって達成される。吸着は、典型的には、大気圧付近で行われる。他の実施形態において、温度スイング吸着は、採水を達成するために行われる。これは、直接加熱法を用いて、または場合によっては磁気誘導スイング吸着を用いて達成することができる。

【0016】

【016】水含有ガスからの水の捕捉は、その水含有ガスから水分を分離すること、ストリップングすること、またはそうでなければ除去することを指すことを理解されたい。水含有ガスは、水分を有する任意のガス、例えば空気（特に大気）、水を含む窒素、水を含む酸素などを含むことができる。

【0017】

【017】また、水含有ガスは、窒素、酸素または同様のものなどの任意の数のガスを含むことができることも理解されたい。実施形態において、水含有ガスは、空気、好ましくは大気、より好ましくは周囲空気を含む。周囲空気は、特定の場所および所与の環境に位置する大気であることを理解されたい。「周囲空気」という用語は、例えば、圧縮空気、脱気空気（水蒸気を脱気した空気など）、濾過空気または同様のものの処理を受けた空気を除外することが意図されることを理解されたい。したがって、この装置を使用して、大気から水分を分離および捕捉し、それによって水を捕捉することができる。

【0018】

【018】大気が使用される場合、大気の相対湿度は、好ましくは22℃で25～100%、好ましくは22℃で40～100%、より好ましくは22℃で40～80%である。実施形態では、大気の相対湿度は、22℃で40～60%、好ましくは22℃で約50%である。

【0019】

【019】水装置のハウジングは、入口を有する任意の適切な容器または筐体を含むことができる。ハウジングは、典型的には、出口ガスが流れることができる出口も含む。水分は水吸着剤によって吸着されるので、出口ガスは、典型的には、供給水含有ガスよりも低い水分を有する。

【0020】

【020】装置はまた、ハウジングが閉鎖環境（または少なくともガス閉鎖環境）を形成し、したがって脱着および凝縮を強化することを可能にするために、入口および任意の出口の上に適合するか、またはそうでなければそれらを閉鎖する、1つまたは複数のドアまたは他の封止装置を含んでもよい。任意の数の封止ドアまたは封止可能な開口部装置を使用することができる。いくつかの実施形態では、入口および出口は、ガスが入口および出口を通して流れることを可能にする開放位置と、入口および出口がガス流れに対して実質的に封止され閉鎖される閉鎖位置とから移動可能な少なくとも1つの流体シールを含む。前記流体シールが、少なくとも1つの可動ドア、好ましくは少なくとも1つの枢動可能なプレートまたはフラップ、より好ましくは少なくとも1つのルーバーを含むことができる。

【0021】

温度スイング採水

【021】温度スイング吸着採水は、いくつかの実施形態では、熱源と水吸着剤との間の直接伝導性熱伝達を使用して達成される。これらの実施形態では、前記水脱着装置が、前記水吸着剤と直接熱伝導性接触している少なくとも1つの熱伝達装置を含む。また前記熱伝達装置が好ましくは、加熱デバイスと熱伝導性接触している。熱伝達装置は、典型的には、加熱デバイスから水吸着剤への伝導性熱伝達を提供する1つ以上の熱伝達素子を含む。いくつかの実施形態では、前記熱伝達装置が、前記加熱デバイスから前記水吸着剤ま

10

20

30

40

50

で延在する少なくとも1つの熱伝達素子を含む。その熱伝達素子は、少なくとも1つの細長いロッド、パイプ、リブ、またはフィンを備えてもよい。

【0022】

【022】多数の適切な加熱デバイスが利用可能である。例示的な実施形態では、加熱デバイスは、少なくとも1つのペルチェ素子を備える。ペルチェ素子は、ペルチェヒートポンプ、固体状態冷凍機、熱電ヒートポンプ、熱電ヒータ、または熱電冷却器としても知られていることを理解されたい。本明細書では、装置のこの要素を説明するために「ペルチェ素子」という用語を使用する。しかしながら、これらの代替用語の各々は、装置のこの要素を説明するために交換可能に等しく使用され得ることを理解されたい。

【0023】

【023】ペルチェ素子は、一般に、成形された水吸着性複合体から水を脱着するのに十分なエネルギーを提供するのに適するように選択される。したがって、ペルチェ素子は、少なくとも50W、好ましくは少なくとも75W、より好ましくは少なくとも100W、さらにより好ましくは少なくとも110Wの最大熱流れを有するように選択される。ペルチェ素子は、好ましくは、充填床を少なくとも50℃、好ましくは少なくとも60℃、より好ましくは少なくとも65℃、さらにより好ましくは少なくとも70℃に加熱することができると選択される。いくつかの実施形態では、ペルチェ素子は、充填床を50～90℃、好ましくは50～80℃、より好ましくは60～80℃に加熱することができると選択される。いくつかの実施形態では、ペルチェ素子は、充填床を65～85℃、好ましくは70～80℃、より好ましくは約75℃に加熱することができると選択される。

【0024】

【024】装置はまた、ペルチェ素子の加熱側を最良に利用するために、ペルチェ素子と熱的に連通する少なくとも1つの熱伝達装置をさらに備えることができる。水吸着剤は、熱伝達装置と接触して位置する、例えば、熱伝達装置の少なくとも一部内に収容されるか、または熱伝達装置の少なくとも一部に被覆される。

【0025】

【025】熱伝達装置は、様々な熱交換器構成を含む任意の数の形態を有することができる。いくつかの実施形態では、熱伝達装置は、ヒートシンク（すなわち、伝導性熱伝達装置）、好ましくはプレートまたはフィン装置を有するヒートシンクを含む。いくつかの実施形態では、ヒートシンク装置は、複数の離間した熱伝達素子を備える。熱伝達素子は、典型的には、好ましくはプレートまたはフィンのうちの少なくとも1つから選択される平面支持要素を含む。

【0026】

【026】成形された水吸着性複合体は、熱伝達装置と接触する任意の数の他の構成の周囲、構成の内部、または構成において位置することができる。好ましい実施形態では、成形された水吸着性複合体は、熱伝達装置内に位置する。この装置では、水吸着剤は、少なくとも2つの熱伝達素子の間に充填床として収容または装着される。水吸着剤は、熱伝達装置の自由容積の少なくとも一部、好ましくは全てに充填される。

【0027】

【027】成形された水吸着性複合体からの吸着および脱着は、水吸着剤を通しておよびその上に流体流れを駆動することによって増強することができる。いくつかの実施形態では、装置は、充填床を通る流体流れを駆動するための少なくとも1つの流体変位デバイスをさらに含む。流体変位デバイスは、好ましくは、少なくとも1つのファンを備える。流れは、多数の流量で充填床を通して駆動することができる。水の吸着および脱着を最適化するために、流体変位デバイスは、充填床を通る少なくとも3m³/hr、好ましくは3～300m³/時、より好ましくは3m³/時～150m³/時の流体流れを生成することが好ましい。充填床を通して流れるのに必要な空気の量は、水含有ガス中の水分レベルおよび捕捉効率に依存することを理解されたい。

【0028】

10

20

30

40

50

【028】装置はまた、水吸着剤からの生成物ガス流れを冷却するための凝縮器システムを含むことができる。いくつかの実施形態では、凝縮器システムは、冷却デバイス、好ましくは冷却トラップを備える。ペルチェ素子を含む実施形態では、ペルチェ素子は凝縮器システムの一部を形成することもできる。ここで、各ペルチェ素子が、高温側および低温側を有し、各ペルチェ素子の前記高温側が少なくとも1つのヒートシンクと熱的に連通しており、各ペルチェ素子の前記低温側が前記凝縮器システムの一部を形成する。

【0029】

【029】各ペルチェ素子の低温側はまた、少なくとも1つの熱伝達装置、好ましくは実施形態では少なくとも1つのヒートシンクと熱的に連通することができる。熱伝達装置は、生成物ガス流れと接触してその中の水分の凝縮を助けるためのさらなる表面積を提供する。

10

【0030】

金属有機構造体複合材

【030】金属有機構造体複合材は、任意の好適な形態で装置に提供することができる。本発明者らは、これが、成形体（例えば、ペレットまたは押出物）、コーティング、プレート、シート、ストリップなどを含む任意の数の配合および形態であり得ることを想定する。

【0031】

【031】多くの実施形態では、前記水吸着剤が：

少なくとも50重量%の水吸着性金属有機構造体と；

少なくとも0.1重量%の親水性バインダと、

を含む金属有機構造体複合材である。

20

【0032】

【032】その金属有機構造体複合材は、所望の用途、装置構成および吸着要件に応じて様々な形態をとり得る。例えば、金属有機構造体複合材は、水脱着装置の表面に適用されたコーティングを含むことができる。他の実施形態では、金属有機構造体複合材は、成形された水吸着性複合体を含む。

【0033】

【033】1つの特定の形態において、金属有機構造体複合材は、0.5mmを超える少なくとも1つの平均寸法を有する成形された水吸着性複合体を含む。この成形された水吸着性複合体は、水吸着性金属有機構造体と、好ましくは充填床吸着システムにおける使用に最適化された親水性バインダとの混合物から形成される。水吸着性金属有機構造体と親水性バインダとの組み合わせは、驚くべき相乗効果を有し、他の種類のバインダ、例えば疎水性バインダの使用と比較して、より大きな水吸着を促進する。

30

【0034】

【034】大気採水／捕捉用途のために、本発明者らは、規定された組成を有する3次元成形体が、低いH₂O分圧であっても、優れた水吸着特性および適切な水吸着動力学を有することを見出した。本発明の成形された水吸着性複合体はまた、水含有ガスからの水捕捉（水蒸気捕捉）のための有用な破過試験特性を有し、圧密化され、成形され、加熱されたときに適切な安定性を有することを見出された。

40

【0035】

【035】理想的には、成形された水吸着性複合体は、水を吸着するために水に対して十分に良好な親和性を有するべきであるが、そこから水を脱着するために過剰なエネルギーを消費する必要があるほど水に対して高すぎる親和性を有するべきではない。好ましくは、水および吸着剤のための吸着の熱は、成形された水吸着性複合体の中および／または上に吸着された水について10～100kJ/mol MOFの範囲である。

【0036】

【036】成形された水吸着性複合体の組成を最適化することは、以下を含む多くの考慮事項を含む。

1. 水安定性—成分、特にMOFは、水安定性であるべきである。

50

2. 吸着再現性、成形された水吸着性複合体は、複数の吸着／脱着サイクル、好ましくは少なくとも10サイクル、より好ましくは少なくとも100サイクルの後に吸着能力を保持すべきである。

3. 製造の容易さ、成形された水吸着性複合体およびその成分は、容易に入手可能な前駆体材料から容易に製造されるべきである。

4. 低い湿度値でさえ空気からの高い水取り込み。

5. 水に対する良好な親和性。複合体のMOF成分は、MOFが水を吸着することを可能にするために水に対して十分に良好な親和性を有するべきであるが、そこから水を脱着するために過剰なエネルギーを消費する必要があるほど水に対して高すぎる親和性を有するべきではない。ここで、水の吸着および脱着の熱力学は、MOFがそこから水分を脱着するために過剰なエネルギー (kJ/mol MOF) を必要とせず、それによってシステムのエネルギー効率に悪影響を及ぼさないことを確実にするために考慮する必要がある。

【0037】

【037】MOFおよび他の成分材料はまた、成形された水吸着性複合体がヒト消費のための水生成に必要とされる関連国におけるヒト消費規制のための食品を満たさなければならない。

【0038】

【038】成形された水吸着性複合体は、好ましくは、低い湿度レベルであっても、空気などの水含有ガスからの水の高い吸着を有する。実施形態では、成形された水吸着性複合体は、 20°C で20%超、好ましくは 20°C で20~100%、好ましくは 20°C で20~80%、より好ましくは 22°C で25~60%の湿度を有する水含有ガス、好ましくは空気から水分を吸着することができる。実施形態において、水含有ガスの湿度は、 22°C で25~100%、好ましくは 22°C で40~100%、好ましくは 22°C で40~80%、好ましくは 22°C で40~60%、より好ましくは 22°C で約50%である。実施形態において、水含有ガスの湿度は、 35°C で20~100%、好ましくは 35°C で20~80%、好ましくは 35°C で20~60%、より好ましくは 22°C で約30%である。

【0039】

【039】成形された水吸着性複合体は、好ましくは少なくとも $700\text{ m}^2/\text{g}$ 、好ましくは $800\text{ m}^2/\text{g}$ より大きい平均表面積を有する。

【0040】

【040】成形された水吸着性複合体は、好ましくは、複数の成形体が2つの支持表面の間に $0.10\sim 1.0\text{ kg/L}$ 、好ましくは $0.25\sim 0.5\text{ kg/L}$ 、より好ましくは $0.25\sim 0.35\text{ kg/L}$ 、さらにより好ましくは約 0.29 kg/L の高い充填密度で充填される充填床吸着システムでの使用に適した寸法で構成される。成形された水吸着性複合体の寸法は、この用途に適するように最適化することができる。充填床で使用するために、成形された水吸着性複合体は、 0.5 mm を超える少なくとも1つの平均寸法を有する。これは、吸着性複合体がガス流れをまわすのに十分なサイズを有することを確実にする。例えば、微粉末（例えば、 10 ミクロン 未満の平均粒径を有する）は、典型的には、充填床吸着システムで使用するには高密度すぎる粒子充填を提供する。いくつかの実施形態では、前記成形された水吸着性複合体が、 0.8 mm 超、好ましくは少なくとも 1 mm 、好ましくは少なくとも 1.2 mm 、さらにより好ましくは少なくとも 1.5 mm の少なくとも1つの平均寸法を有する。実施形態では、前記成形された水吸着性複合体の平均幅、平均深さおよび平均高さのそれぞれが、 0.5 mm 超、好ましくは 1 mm 超である。

【0041】

【041】「平均寸法」は、成形された水吸着性複合体の幅、深さ、または高さのうちの少なくとも1つの平均（平均）寸法を指すことを理解されたい。したがって、平均幅、平均深さ、または平均高さのうちの少なくとも1つは、特定された寸法値よりも大きくなければならない。

【0042】

10

20

30

40

50

【042】成形された水吸着性複合体は、任意の好適な形状を有することができる。複合体の形状は、（複合体の近傍における）局所的な流体流れの圧力降下に、したがって、任意の充填床吸着システムの性能に影響を与える。例えば、成形された水吸着性複合体は、ペレット（例えば、ディスク状ペレット）、ピル、球、顆粒、押出物（例えば、ロッド押出物）、ハニカム、メッシュまたは中空体を含むことができる。実施形態において、成形された水吸着性複合体は、3次元体として形成され、好ましくは3次的に形成される。特定の実施形態では、成形された水吸着性複合体は、円形または正多角形の断面形状を有する細長い本体を含む。例えば、成形された水吸着性複合体は、例えば正方形または三角形の断面形状を有してもよい。例示的な形態では、前記成形された水吸着性複合体が、三角形の断面形状、好ましくは正三角形の断面形状を有する細長い本体を含む。一形態では、成形された水吸着性複合体は、正三角形の断面を有し、好ましくは正三角形の辺は、長さが少なくとも1mm、好ましくは長さが1.0～1.5mmである。細長い成形された水吸着性複合体の長さ（長手方向の長さ）は、1～5mmであることが好ましく、1～4mmであることがより好ましい。

10

【0043】

金属有機構造体

【043】金属有機構造体（MOF）は、成形された水吸着性複合体の主要な吸着剤成分を含む。MOFは、例外的な多孔性を有する結晶性ナノ吸着剤である。MOFは、有機分子によって周期的に連結された金属原子またはクラスターからなり、各原子が内部表面の一部を形成するアレイを確立する。物理吸着剤としてのMOFは、MOF多孔質構造の内部表面を通して強い吸着特性を達成する。この相互作用の強度は、H₂O分子を捕捉するためのMOFの吸着剤表面の構成に依存する。有利には、MOFの表面の化学的性質および構造は、吸着／脱着速度、圧力の関数としての容量、および動作温度などの性能基準が特に重要であり得る特定の用途に合わせて調整することができる。

20

【0044】

【044】成形された水吸着性複合体は、酸素および窒素などの空気中の他の成分ではなく水を吸着するMOFの選択性を利用する。すなわち、MOF吸着剤を使用して水含有ガス（空気など）から水を捕捉する。この機能性のために、成形された水吸着性複合体は、少なくとも50重量%の水吸着剤MOF、好ましくは少なくとも70重量%の水吸着剤MOF、より好ましくは少なくとも80重量%の水吸着剤MOF、さらにより好ましくは少なくとも85重量%の水吸着剤MOF、さらにより好ましくは少なくとも90重量%の水吸着剤MOFを含む。

30

【0045】

【045】「水吸着性金属有機構造体」は、低い湿度値でも水を吸着する、水に対して良好な親和性を有する水安定性金属有機構造体を意味することを理解されたい。好ましくは、水の吸着の熱は、MOFに吸着された水について10～100kJ/mol MOFの範囲である。理想的には、水吸着剤MOFは、MOFが水を吸着することを可能にするために水に対して十分に良好な親和性を有するべきであるが、そこから水を脱着するために過剰なエネルギーを消費する必要があるほど水に対して高すぎる親和性を有するべきではない。ここで、水の吸着および脱着の熱力学は、MOFがそこから水分を脱着するために過剰なエネルギー（kJ/mol MOF）を必要とせず、それによってシステムのエネルギー効率に悪影響を及ぼさないことを確実にするために考慮する必要がある。

40

【0046】

【046】任意の適切な水吸着性金属有機構造体を使用することができる。いくつかの実施形態では、前記水吸着性金属有機構造体が、フマル酸アルミニウム（AlFum）、MOF-801、MOF-841、Co₂Cl₂BTDDを含むM₂Cl₂BTDD、Cr-soc-MOF-1、MIL-101（Cr）、CAU-10、アルカリ金属（Li⁺、Na⁺）ドープMIL-101（Cr）、MOF-303（Al）、MOF-573、MOF-802、MOF-805、MOF-806、MOF-808、MOF-812、またはそれらの混合物のうちの少なくとも1つを含む。実施形態において、水吸着性金属有

50

機構造体は、好ましくは、フマル酸アルミニウム、MOF-303、MOF-801、MOF-841、 M_2Cl_2BTDD 、Cr-soc-MOF-1、またはMIL-101 (Cr) から選択される。

【0047】

【047】 特定の実施形態では、前記水吸着性金属有機構造体が、そのうちの少なくとも1つの配位子が、フマル酸塩（フマル酸）または3,5-ピラゾールジカルボン酸（H3PDC）系配位子から選択される複数の多座配位子を含む。いくつかの実施形態では、金属イオンが、 Fe^{3+} 、 Li^{+} 、 Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Zr^{4+} 、 Al^{3+} 、 K^{+} 、 Mg^{2+} 、 Ti^{4+} 、 Cu^{2+} 、 Mn^{2+} から Mn^{7+} 、 Ag^{+} 、またはそれらの組み合わせから選択される。好ましい実施形態では、金属イオンが、 Zr^{4+} 、 Al^{3+} 、またはそれらの組み合わせから選択される。例としては、アルミニウム（III）イオンおよび3,5-ピラゾールジカルボン酸およびALFuを連結することによって構築されるMOF-303、 $[Al(OH)(C_5H_2O_4N_2)(H_2O)]$ およびMOF-573 $[Al(OH)(C_5H_2O_4N_2)(H_2O)]$ が挙げられる。

【0048】

【048】 特定の実施形態では、水吸着性金属有機構造体は、1H-ピラゾール-3,5-ジカルボキシレート（HPDC）リンカーのカルボキシレート基を介して連結された無機アルミニウム鎖を含む多孔質アルミニウム系金属有機構造体（MOF）を含み、式： $[Al(OH)(C_5H_2O_4N_2)(H_2O)]$ 、式中、各Al（III）イオンは、 AlO_6 八面体を形成する4つの異なるカルボキシレート基からの4個のO原子および2つのヒドロキシル基からの2個のO原子によってキャップされ、 AlO_6 八面体は、2つの隣接する架橋ヒドロキシル基のシスおよびトランス位に応じて、それぞれMOF-303（シス）およびMOF-573（トランス）形態の螺旋鎖である角共有鎖を形成する。

【0049】

【049】 実施形態では、MOFは、MOF-303であり、リンカーは、一緒に鎖のうちの2本をさらに架橋し、直径6 Åの直径（最大適合球によって測定される）を有する正方形の一次元チャンネルを画定する3D構造体の形成をもたらす、MOF-303は、xhhのトポロジーを有し、および／またはMOFは、恒久的気孔率、ならびに1380のブルナウアー-エメット-テラー（BET）表面積および $0.55 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ の細孔容積を有する。

【0050】

【050】 実施形態では、MOFは、MOF-573であり、リンカーは、一緒に鎖のうちの2本をさらに架橋し、直径5 Åの直径（最大適合球によって測定される）を有する正方形の一次元チャンネルを画定する3D構造体の形成をもたらす、MOFは、uptのトポロジーを有し、および／またはMOFは、恒久的気孔率、ならびに $980 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ のブルナウアー-エメット-テラー（BET）表面積および $0.56 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ の細孔容積を有する。

【0051】

【051】 人間が消費するための水の生成は、関連する国におけるヒトの消費規制のための食物を満たす材料の使用を必要とする。したがって、例示的な実施形態では、水吸着剤MOFは、フマル酸アルミニウム（ALFu）MOFを含む。出願人は、ALFuを使用する利点は、MOFが安価で製造が容易であることであることに注目する。

【0052】

【052】 水吸着性金属有機構造体は、好ましくは、成形された水吸着性複合体の機能性を最大にするために多くの特性を具体化するべきである。例えば、水吸着性金属有機構造体は、好ましくは、少なくとも $700 \text{ m}^2/\text{g}$ 、好ましくは $800 \text{ m}^2/\text{g}$ 超の平均表面積を有する。水吸着性金属有機構造体はまた、好ましくは少なくとも2 nm、好ましくは5 nm超の細孔径を有する。細孔径は、少なくともその中に水分子を適合させるのに十分であるべきである。

【0053】

10

20

30

40

50

【053】本発明において、水吸着剤MOFは、粉状材料、好ましくは粉末または微粒子として提供される。実施形態では、前記水吸着性金属有機構造体が、800 μm 未満、好ましくは600 μm 未満、より好ましくは500 μm 未満の粒径を有する。特定の実施形態では、水吸着剤MOF粉末は、500 μm 未満、好ましくは300 μm 未満、より好ましくは212 μm 未満、さらにより好ましくは150 μm 未満、いくつかの実施形態では88 μm 未満の粒径を有する。粒径は、典型的には、粒子がふるいにかけてられるメッシュサイズに関して測定されることを理解されたい。したがって、実施形態において、水吸着剤MOF粉末は、60メッシュ(250 μm)未満、好ましくは100メッシュ(149 μm)未満、好ましくは140メッシュ(105 μm)未満、より好ましくは170メッシュ(88 μm)未満の粒径を有する。水吸着剤MOF粉末はまた、好ましくは10～100 μm 、より好ましくは20～80 μm の平均粒径を有する。他の実施形態では、水吸着剤MOF粉末は、10～80 μm 、好ましくは20～60 μm の平均粒径を有する。

【0054】

親水性バインダ

【054】水吸着剤MOF粉末混合物は、充填床吸着システムにおいて使用される場合、理想的ではない。粉末単独では、充填密度が高すぎ、したがって、吸着ユニットを横切る圧力降下が大きすぎる。したがって、粉末のみを使用することはできない。本発明者らは、水吸着剤MOFを、充填床水吸着剤システムに充填する前に成形して、充填床吸着システムで使用するための成形された水吸着性複合体、例えばペレットを形成すべきであることを見出した。

【0055】

【055】成形プロセスは、バインダの使用によって促進される。バインダを使用せずに成形複合体を形成することは可能であり得るが、それらの組成物中にバインダを含む成形複合体は、充填床水吸着剤システムにおいて使用されるとき、より大きな構造強度および安定性を有する傾向がある。したがって、ペレットなどの成形複合体は、充填床吸着システムの連続操作を容易にする。

【0056】

【056】本発明者らは、驚くべきことに、成形された水吸着性複合体に最適な水吸着特性を付与するために、親水性バインダを使用しなければならないことを見出した。本発明者らは、非親水性バインダ、特に疎水性バインダ(例えばセルロースシロキサン)が、成形された水吸着性複合体の水吸着特性におもわず影響を及ぼすことを見出した。したがって、親水性バインダの使用は、充填床水吸着システムの最適な水分捕捉特性にとって重要である。

【0057】

【057】様々な親水性バインダを成形水吸着体に使用することができる。親水性バインダは、有機または無機であることができ、水吸着剤MOFの細孔を塞ぐべきではない。いくつかの実施形態では、親水性バインダは、親水性セルロース誘導体、好ましくはアルキルセルロース、ヒドロキシアルキルセルロース、またはカルボキシアルキルセルロース誘導体を含む。特に適切な親水性バインダは、ヒドロキシプロピルセルロース(HPC)、ヒドロキシプロピルセルロース、ヒドロキシエチルメチルセルロース、ヒドロキシプロピルメチルセルロース(HPMC)、エチルヒドロキシエチルセルロース、メチルセルロース、カルボキシメチルセルロース(CMC)、またはポリビニルアルコール(PVA)のうちの少なくとも1つから選択され得る。しかしながら、他のバインダも可能であることを理解されたい。好ましい実施形態では、親水性バインダはヒドロキシプロピルセルロース(HPC)を含む。添加剤は、成形体が使用される用途に依存することを理解すべきである。水がヒトの消費のために生成される場合、バインダは、好ましくは、ヒトの消費のための承認された賦形剤を含む。ヒトの消費のための承認された賦形剤の例としては、食品または医薬品のための承認された賦形剤が挙げられる。承認された食品グレードまたは医薬品グレードのバインダが好ましい。

【0058】

【058】成形された水吸着性複合体は、少なくとも0.1重量%の親水性バインダ、好ましくは少なくとも0.2重量%の親水性バインダを含む。実施形態において、成形された水吸着性複合体は、0.2～5重量%の親水性バインダを含む。いくつかの実施形態では、成形された水吸着性複合体は、0.5～3重量%の親水性バインダ、より好ましくは0.8～2重量%の親水性バインダ、さらにより好ましくは約1重量%の親水性バインダを含むことができる。バインダの量は、水吸着剤MOFの特性および粒径（平均サイズおよび粒径分布）に基づいて選択されることを理解されたい。

【0059】

潤滑剤

【059】成形された水吸着性複合体は、好ましくは0.5重量%未満の潤滑剤、好ましくは0.1重量%未満の潤滑剤を含む。適切な潤滑剤としては、界面活性剤およびそれらの塩が挙げられる。適切な潤滑剤の例としては、ステアリン酸マグネシウム、酸化アルミニウム、オレイン酸ナトリウム、グリセリド、ジグリセリド、トリグリセリド、脂肪酸、シリコン油および鉱油を含む油、ならびにそれらの混合物が挙げられる。添加剤は、成形体が使用される用途に依存することを理解すべきである。水が捕捉され、ヒトの消費のために生成される場合、潤滑剤は、好ましくは、ヒトの消費のための承認された賦形剤を含む。ヒトの消費のための承認された賦形剤の例としては、食品または医薬品のための承認された賦形剤が挙げられる。承認された食品グレードまたは医薬品グレードの潤滑剤が好ましい。後述するように、成形された水吸着性複合体を製造する際に、成形および形成プロセスを補助するために、1つまたは複数の潤滑剤が混合物に添加される。

【0060】

充填床吸着装置

【060】いくつかの実施形態では、装置は、上述の成形された複合MOF体を含む充填床吸着システムを含む。このような実施形態では、水吸着剤は、少なくとも50重量%の水吸着性金属有機構造体と、少なくとも0.1重量%の親水性バインダとを含む金属有機構造体複合材であり、0.5mm超の少なくとも1つの平均寸法を有する。この態様では、成形体は、ハウジング内に封入された充填床に収集される。ハウジングは、好ましくは流体密封のハウジングである。

【0061】

【061】ハウジングは、好ましくは、各膜を通るガス流れを可能にするように構成された2つの離間した支持膜を含む。複数の前記成形された水吸着性複合体は、それらの間に充填床を形成し、それらの間で圧縮される。実施形態において、成形された水吸着性複合体は、0.10～1.0kg/L、好ましくは0.25～0.5kg/L、より好ましくは0.25～0.35kg/Lの密度で充填される。いくつかの実施形態では、成形された水吸着性複合体は、約0.25kg/Lの密度で充填される。他の実施形態では、成形された水吸着性複合体は、約0.29kg/Lの密度で充填される。任意の充填床と同様に、その充填床内の任意の吸着剤の短絡を回避するために、吸着剤が充填床容積全体にわたって緊密かつ実質的に均一に充填されることが重要である。充填床を通るより短い／短絡経路を回避するかまたはそれに従うことができる任意の流れは、その流れから水が除去されることを回避する。短絡流れはシステムのエネルギー効率および水生成速度に悪影響を及ぼす。密で均一な充填はまた、吸着性能を最適化するために均一な経路長を保証する。

【0062】

【062】装置は、低圧または減圧（真空環境と呼ばれることもある）を使用して、放出された水を凝縮器に導くことができる。実施形態において、圧力は、100mbar未満、好ましくは50mbar未満、より好ましくは35mbar未満である。他の実施形態では、圧力は500mbar未満である。他の実施形態では、放出された水は、ガス流れ、例えば、水含有ガスまたは不活性ガスもしくは他の乾燥ガスなどの別のガスの流れに伴伴され、凝縮器に導かれる。

【0063】

【063】水含有ガスの流量は、成形された水吸着性複合体の充填床の水吸着を最適化するように変化させることもできる。実施形態では、水含有ガスは、水吸着剤MOFが依然として水含有ガスから水を吸着している間に、装置にとって可能な速さの流量で、成形された水吸着性複合体の充填床を通して供給される。特定の流量は、特定の体積のガスが含有する水の質量を決定するので、水含有ガスの水分に依存することを理解されたい。水含有ガスの水分は、その含有ガスの相対湿度ならびに温度および圧力に依存する。装置に周囲空気が供給される場合、所望のサイクル時間を維持するために、同じ温度でより高い湿度の空気と比較して、より高い流量が、より低い湿度の空気に必要とされる。

【0064】

【064】使用される湿った空気の供給源は、地球上の最も乾燥した場所で見られる湿度レベルを模倣する、非常に低い相対湿度であり得る。実施形態において、空気の湿度は、20℃で22%超、好ましくは20℃で20～100%、好ましくは20℃で20～80%、より好ましくは22℃で25～60%である。実施形態において、空気の湿度は、22℃で40～100%、好ましくは22℃で40～100%、好ましくは22℃で40～80%、好ましくは22℃で40～60%、より好ましくは22℃で約50%である。実施形態において、空気の湿度は、35℃で20～100%、好ましくは35℃で20～80%、好ましくは35℃で20～60%、より好ましくは22℃で約30%である。

【0065】

【065】充填床吸着システムは、磁気誘導スイング採水（吸着－脱着サイクル）用に構成することができる。ここで、水吸着剤は、少なくとも50重量%の水吸着性金属有機構造体と、200nm未満の平均粒径を有する0.2～10重量%の磁性粒子との混合物を含む磁性構造体複合体であり、水脱着装置は、水吸着剤にAC磁場を印加するように構成された、水吸着剤の内部および／または周囲に位置する交流（AC）磁場発生器を含む。水吸着剤は、好ましくは、ハウジング内の充填床に位置する成形された水吸着性複合体を含む。成形された水吸着性複合体は、好ましくは0.10～1.0kg/L、好ましくは0.25～0.5kg/L、より好ましくは0.25～0.35kg/Lの密度で充填される。

【0066】

【066】前記AC磁場発生器が、好ましくは、成形された水吸着性複合体の充填床の内部および／または周囲に位置する少なくとも1つの誘導コイルを含む。交流磁場発生器は、活性化されたときに、成形された水吸着性複合体の充填床から、吸着された水を放出するために、成形された水吸着性複合体の充填床にAC磁場を照射するように設計される。

【0067】

磁性粒子

【067】誘導熱発生を水脱着に使用することが望ましい場合、成形された水吸着性複合体は、磁性粒子を含んでもよい。これらの実施形態では、成形された水吸着性複合体は、200nm未満の平均粒径を有する0.2～10重量%の磁性粒子を含有する。いくつかの実施形態では、成形された水吸着性複合体は、0.5～7重量%の磁性粒子、いくつかの実施形態では、1～5重量%の磁性粒子を含み得る。

【0068】

【068】この複合材料の使用は、MOFの並外れた吸着性能を組み合わせ、MOFから水を脱着するための高効率の磁気誘導加熱の使用を可能にする。成形された水吸着性複合体は、磁性構造体複合体（MFC）、磁性粒子をMOF結晶と組み合わせる複合材料で形成される。MOFを有する磁性粒子（典型的には、マイクロサイズまたはナノサイズの磁性粒子）の組み込みは、交流（AC）磁場への曝露時の熱の発生を可能にする。したがって、MFCは、複合材料内で熱を発生させる結果として、AC磁場を使用して再生することができ、その結果、MFCのMOF部分の細孔から、吸着された流体を放出する。

【0069】

【069】このプロセスは、外部AC磁場によって誘導される強磁性／フェリ磁性粒子の静的ヒステリシスおよび動的コア損失の結果として発生する熱を使用する。誘導加熱に

10

20

30

40

50

よる熱の発生は遠隔で起こり、結果として生じる熱は目標とされ、加熱プロセスを隔離し、したがってエネルギー効率を高める。

【0070】

【070】磁性構造体複合材の磁気特性は、複合材内に混合された磁性粒子によって提供される。上記で概説したように、磁性粒子は、交流（AC）磁場への曝露時に熱を発生させるために利用することができ、それによって、水吸着剤MOF上に吸着された水についての磁気誘導スイング吸着プロセスを行うために使用することができる。

【0071】

【071】磁性粒子の量は、AC磁場を印加したときに所望の熱発生プロファイルおよび大きさを提供するように選択される。典型的には、成形された水吸着性複合体中の磁性粒子の量は、0.2～10重量%である。実施形態において、成形された水吸着性複合体は、0.5～7重量%の磁性粒子、好ましくは1～5重量%の磁性粒子を含み得る。

【0072】

【072】多様な磁性粒子を本発明の成形された吸着体に使用することができる。実施形態では、磁性粒子は、強磁性、常磁性、または超常磁性粒子を含む。実施形態において、磁性粒子は金属カルコゲナイドを含む。適切な金属カルコゲナイドは、O、S、Se、またはTeの内の少なくとも1つの元素または元素形態との組み合わせで、Li、Na、K、Rb、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Re、Fe、Ru、Os、Co、Rh、Ir、Ni、Pd、Pt、Cu、Ag、Au、Zn、Cd、Hg、B、Al、Ga、In、Tl、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Biの内の少なくとも1つまたはそれらの組み合わせから選択されるMの元素またはそのイオン形態の任意の組み合わせを含む磁性粒子を含む。いくつかの実施形態では、金属カルコゲナイドは、式 $M_x N_y C_z$ を有し、式中、MおよびNは、Li、Na、K、Rb、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Re、Fe、Ru、Os、Co、Rh、Ir、Ni、Pd、Pt、Cu、Ag、Au、Zn、Cd、Hg、B、Al、Ga、In、Tl、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Biのうちの少なくとも1つから選択され、Cは、O、S、Se、Teの少なくとも1つから選択され、xは0～10の任意の数であり、yは0～10の任意の数であり、zは0～10の任意の数である。金属カルコゲナイド粒子は、いくつかの実施形態では、コア-シェル構造を有してもよく、コアは、前述のような少なくとも1つの金属カルコゲナイドを含み、シェルは、前述のような少なくとも1つの金属カルコゲナイドを含む。いくつかの形態では、コア-シェル構造は、複数のシェルを含み得る。実施形態では、磁性粒子は、 $MgFe_2O_4$ 、 Fe_3O_4 、 $CoFe_2O_4$ 、 $NiFe_2O_4$ 、ピリジン-2，6-ジアミン官能化 SiO_2 、ピリジン-2，6-ジアミン官能化 Fe_3O_4 、またはC被覆Coのうちの少なくとも1つを含む。

【0073】

【073】磁性粒子は、任意の数の形状および構成を含むことができる。実施形態において、磁性粒子は、不規則な形状を有する粒子を含む。いくつかの実施形態では、磁性粒子は、規則的な3次元形状、例えば、球状、板状、ロッド、円筒状、卵形などを有する粒子を含む。いくつかの実施形態では、磁性粒子は、複数の磁性ナノスフィアナノスフェアを含む。磁性粒子のサイズは、典型的には、所望の充填床用途および構成のために選択される。一般に、磁性粒子は、ナノ粒子またはマイクロ粒子を含む。磁性粒子は、200nm未満、好ましくは150nm未満、より好ましくは1～100nmの平均粒径を有する。いくつかの実施形態では、磁性粒子は、50nm未満の平均粒径を有する。いくつかの実施形態では、磁性粒子は、1～200nm、好ましくは5～100nm、より好ましくは5～30nm、さらにより好ましくは5～30nmの平均粒径を有する。いくつかの実施形態では、磁性粒子は、約20nmの平均粒径を有する。磁性粒子は、水吸着剤MOFの細孔を汚さないように十分に大きい必要があることに留意されたい。

【0074】

【074】磁性構造体複合材料を形成するための磁性粒子とMOFとの組み合わせは、

MOFの結果として並外れた吸着挙動を有し、磁性粒子の結果として誘導加熱の高い効率を有する吸着剤をもたらす。

【0075】

水含有ガスから水分を捕捉する方法

【075】本発明の第2の態様は、水含有ガスから水分を捕捉する方法であって

ハウジングの入口を通して、前記ハウジング内に封入された水吸着剤の上に水含有ガスを供給するステップであって、前記水吸着剤が、前記水含有ガスから水を吸着するように、前記水含有ガスから水分を吸着することが可能な少なくとも1つの水吸着性金属有機構造体複合材を含む、ステップと、

少なくとも1つの水脱着装置を動作させて、不活性状態から活性化状態に変化させて、熱、減圧、またはそれらの組み合わせを前記水吸着剤に加えて、前記吸着された水の少なくとも一部をそこから生成物流体流れに放出するステップと、

前記生成物流体流れを凝縮器システムに向かわせて、前記生成物流体流れから水分を分離するステップと、のうちの少なくとも1つのサイクルを含み、

前記水脱着装置が、前記水吸着剤と接触しているおよび／または前記水吸着剤を囲んでいる、方法、を提供する。

【0076】

【076】本発明の第2の態様はまた、本発明の第1の態様による装置を使用して水含有ガスから水分を捕捉する方法を提供する。本方法は、水吸着剤が水含有ガスから水分を吸着するように、ハウジングの入口を通して水吸着剤の上に水含有ガスを供給するステップであって、水脱着装置が不活性化状態にある、ステップと、少なくとも1つの水脱着装置を活性化状態で動作させて、吸着された水の少なくとも一部をそこから生成物流体流れに放出するように、熱、減圧、またはそれらの組み合わせを水吸着剤に加えるステップと、生成物流体流れを凝縮器システムに向かわせて、生成物流体流れから水分を分離するステップと、のうちの少なくとも1つのサイクルを含む。

【0077】

【077】本発明のこの態様では、加湿ガス流れを水吸着剤の上に供給する。吸収剤に水蒸気を充填した後、水脱着装置を作動させて加熱、減圧またはこれらの組み合わせを行う。その結果、水吸着剤は、吸着された水分の少なくとも一部を放出するように駆動される。脱着された水は、凝縮器システム、例えばコールドトラップで凝縮させることができる。

【0078】

【078】本発明のこの第2の態様の方法で使用される装置およびその特徴は、第1の態様に関連して先に教示された特徴も含むことができることを理解されたい。

【0079】

【079】方法は、好ましくは、少なくとも1つの水脱着装置を動作させる前に、ハウジングの入口および出口を閉鎖するステップをさらに含む。これにより、ハウジング内に閉鎖ガス封止環境が形成され、その中の水分を捕捉することができる。ハウジング内部の相対湿度は高い値に上昇し、水は収集のために凝縮器システム内で凝縮する。

【0080】

【080】この方法は、周期的な方法であり、水吸着剤に水を吸着させるステップと、水脱着装置の動作によって、吸着された水を放出するステップと、その水を凝縮させるステップとが、連続的に水を生成するように反復サイクルで行われることを理解されたい。サイクル時間は、典型的には、水吸着剤および吸着システムの構成、水吸着剤MOFの量、破過点、飽和点、温度、圧力および他のプロセス条件に依存する。いくつかの実施形態では、本方法の1サイクルは、10時間未満、好ましくは8時間未満、より好ましくは7時間未満、より好ましくは6時間以下の持続時間を有する。他の実施形態では、この方法ステップのサイクル時間は、持続時間約30分間である。しかしながら、装置の構成に応じて、10分～10時間の他のサイクル時間も可能である。

【0081】

【081】 上述のように、本発明の装置は、温度スイング採水（吸着－脱着サイクル）用に構成することができる。これらのシステムでは、成形された水吸着性複合体の充填床を加熱するために熱源が必要とされる。いくつかの実施形態では、少なくとも1つの水脱着装置を動作させるステップは、少なくとも1つのペルチェ素子を動作させて、水吸着剤を加熱して、吸着された水の少なくとも一部をそこから生成物流体流れ内に放出するステップを含む。前記少なくとも1つのペルチェ素子はまた、前記生成物流体流れを冷却するように構成された前記凝縮器システムの一部を形成してもよい。この構成は、使用される1つのペルチェ素子または複数のペルチェ素子の加熱側と冷却側の両方を有利に利用する。

【0082】

【082】 他の実施形態では、本発明の装置は、磁気誘導スイング採水用に構成することができる。ここで、前記少なくとも1つの水脱着装置を動作させるステップが、成形された水吸着性複合体の充填床に交流磁場を印加し、それによって、前記成形された水吸着性複体内に熱を発生させ、そこから前記吸着された水の少なくとも一部を生成物流体流れに放出するステップを含み、前記成形された水吸着性複合材が、少なくとも50重量%の水吸着性金属有機構造体と；少なくとも0.1重量%の親水性バインダと、200nm未満の平均粒径を有する0.2～10重量%の磁性粒子とを含む。

【0083】

【083】 この方法における成形された水吸着性複合体は、磁気誘導真空スイング吸着を受けて、成形された水吸着性複合体の充填床内に供給される水含有ガスから水を捕捉する。AC磁場の印加は、充填床内の成形された水吸着性複合体に吸着された水分の量に依存する。したがって、この方法は、磁気誘導加熱の高いエネルギー変換効率を利用する。実施形態では、装置および方法は、90%超、好ましくは95%超のエネルギー変換効率を有し、いくつかの実施形態では、最大98%が達成された。さらに、磁気誘導加熱による急速加熱の使用は、短いサイクル時間を達成することを可能にする。実施形態において、本方法は、2時間未満、好ましくは1時間未満のサイクル時間を有する。

【0084】

【084】 吸着は一時的なプロセスである。床内に吸着される材料の量は、位置と時間の両方に依存する。充填床の活性吸着領域は、時間が経つにつれて、入口から離れて床を通過して移動する。この物質移動ゾーンは、「破過」するまで床を通過して移動する。床から出てくる流体は、少なくとも床の大部分が飽和するまで、溶質をほとんどまたは全く残さない。破過点は、吸着されていない溶質が出現し始めるときに床から出る流体の濃度が急上昇するときに生じる。床は依然として水を吸着するが、床が飽和するまでは破過点の前よりも遅い速度であり、さらなる水は吸着されないことがあり、床の「飽和点」として定義される。したがって、充填床の飽和点の観点からは、充填床が、飽和点の少なくとも75%、好ましくは充填床の飽和点の少なくとも80%、より好ましくは少なくとも90%と同等の吸着された水を有するときに、交流磁場を印加することが好ましい。これは、充填床の吸着能力が実質的に利用されることを確実にするが、充填床が完全に飽和される前に水が放出されることを可能にする。

【0085】

【085】 AC磁場は、充填床の、成形された水吸着性複合体上に吸着された水を実質的に放出するのに必要な長さの時間印加される。その適用時間は、充填床の形状、サイズおよび構成、AC磁場発生器の形状、サイズおよび構成、適用される磁場強度ならびに成形された水吸着性複合体中の磁性粒子の量に依存する。いくつかの実施形態では、AC磁場は、少なくとも1秒間印加される。実施形態において、AC磁場は、1～120秒間、好ましくは1～60秒間、より好ましくは10～30秒間印加される。

【0086】

【086】 成形された水吸着性複合体の充填床に適用される磁場強度は、典型的には、その充填床の形状、サイズおよび構成に合わせられる。実施形態において、磁場強度は、少なくとも10mT、好ましくは少なくとも12mT、好ましくは約12.6mTである。しかしながら、選択される磁場強度は、特定の用途に依存し、一般に、水吸着剤MOF

10

20

30

40

50

から水を脱着するための最大熱に対して、最低の電力消費、したがって最低の磁場強度を提供するように選択されることを理解されたい。AC磁場の周波数は、最大の加熱を提供するように選択することができる。実施形態において、AC磁場の周波数は、200～300kHz、好ましくは250～280kHz、より好ましくは260～270kHzである。再び、周波数は、特定の用途のために選択され、最低の電力消費のために最大の加熱を提供するように調整／最適化され得る。

【0087】

【087】この場合も、水含有ガスは、窒素、酸素などの任意の数のガスを含むことができることを理解されたい。実施形態において、水含有ガスは、空気、好ましくは大気、より好ましくは周囲空気を含む。したがって、この方法は、大気から水分を分離して捕捉し、それによって水を捕捉するために使用することができる。

10

【0088】

【088】凝縮器システムは、生成物流体流れ（典型的には、同伴水蒸気を有するガス）の水分を分離して水を生成するために使用される。多種多様な凝縮器装置が可能であり、設計されたシステムの特定の要件を満たすように選択されることを理解されたい。凝縮器は、生成物流体流れ中の水蒸気を液体水に変換するために使用される。いくつかの実施形態では、凝縮器は、冷却トラップ、空気コイル、表面凝縮器または別の熱交換デバイスなどの熱伝達／冷却デバイスを含む。

【0089】

【089】いくつかの実施形態では、金属有機構造体吸着剤は、複合体を加熱し、乾燥窒素流れをカラムに通す（供給する）ことによってそれらをトリガすることによって、使用（すなわち、水分吸着のための使用）前に活性化することができる。水吸着剤が磁性粒子を含む複合体を含む場合、加熱は交流磁場で達成することができる。材料の活性化は、出てくるガス流れの湿度が0になるまで行った。

20

【0090】

【090】全体として、本方法および関連装置は、20%RHおよび35℃で、少なくとも2.8L/kgのMOF、より好ましくは少なくとも3.5L/kgのMOF、さらにより好ましくは少なくとも4L/kgのMOF、いくつかの実施形態では約4.1L/kgのMOFの水生成能力を有する。典型的なエネルギー使用は、10～15kWh/L、典型的には約12kWh/Lの生成された水である。

30

【0091】

水含有ガスから水を捕捉するための温度スイング装置

【091】本発明の第3の態様は、水含有ガスから水分を捕捉するための装置であって、前記装置が：

0.5mm超の少なくとも1つの平均寸法を有し、少なくとも50重量%の水吸着性金属有機構造体と、少なくとも0.1重量%の親水性バインダとを含む成形された水吸着性複合体の充填床と接触する少なくとも1つの熱伝達装置と；

各熱伝達装置と熱的に連通する少なくとも1つのペルチェ素子であって、各ペルチェ素子が、前記成形された水吸着性複合体を加熱して、そこから生成物流体流れに同伴される水を脱着するように構成される少なくとも1つのペルチェ素子と、

40

を含み、

少なくとも1つのペルチェ素子がまた、成形された水吸着性複合体の前記充填床からの前記生成物流体流れを冷却するための凝縮器システムの一部を形成する、装置を提供する。

【0092】

【092】本発明のこの第3の態様は、成形体内および成形体上に吸着された水を脱着するために温度スイング誘導加熱を使用する成形された水吸着性複合体を含む水捕捉装置を提供する。この態様では、成形体は、ヒートシンクと接触して封入された充填床に収集される。装置はまた、活性化されたときに、成形された水吸着性複合体の充填床から、吸着された水を放出するために、成形された水吸着性複合体の充填床を加熱するように構成されたペルチェ素子を含む。ペルチェ素子はまた、充填床の、成形された水吸着性複合体

50

から脱着される流体流れの凝縮を駆動する冷却機能を提供するように構成される。

【0093】

【093】第1の態様に関連して上述したように、ペルチェ素子は、好ましくは、成形された水吸着性複合体から水を脱着するのに十分なエネルギーを提供するのに適するように選択される。したがって、ペルチェ素子は、少なくとも50W、好ましくは少なくとも75W、より好ましくは少なくとも100W、さらにより好ましくは少なくとも110Wの最大熱流れを有するように選択される。さらに、ペルチェ素子は、充填床を少なくとも50℃、好ましくは少なくとも60℃、より好ましくは少なくとも65℃、より好ましくは少なくとも70℃に加熱することができると選択することができる。いくつかの実施形態では、ペルチェ素子は、充填床を50～90℃、好ましくは50～80℃、より好ましくは50～80℃、さらにより好ましくは65～85℃に加熱することができると選択される。いくつかの実施形態では、ペルチェ素子は、充填床を70～80℃、好ましくは約75℃に加熱することができると選択される。

10

【0094】

【094】成形された水吸着性複合体は、熱伝達装置と接触する任意の数の他の構成の周囲、構成の内部、または構成において位置することができる。好ましい実施形態では、成形された水吸着性複合体は、熱伝達装置内に位置する。

【0095】

【095】この場合も、熱伝達装置は、様々な熱交換器構成を含む任意の数の形態を有することができる。いくつかの実施形態では、熱伝達装置は、ヒートシンク（すなわち、伝導性熱伝達装置）、好ましくはプレートまたはフィン装置を有するヒートシンクを含む。いくつかの実施形態では、ヒートシンク装置は、複数の離間した熱伝達素子を備える。この装置では、成形された水吸着性複合体は、少なくとも2つの熱伝達素子の間に充填床として装着される。熱伝達素子は、典型的には、プレートまたはフィンのうちの少なくとも1つを備える。

20

【0096】

【096】成形された水吸着性複合体からの吸着および脱着は、成形された水吸着性複合体を通しておよびその上に流体流れを駆動することによって増強することができる。いくつかの実施形態では、装置は、充填床を通る流体流れを駆動するための少なくとも1つの流体変位デバイスをさらに含む。流体変位デバイスは、好ましくは、少なくとも1つのファンを備える。流れは、多数の流量で充填床を通して駆動することができる。水の吸着および脱着を最適化するために、流体変位デバイスは、充填床を通る少なくとも3m³/hr、好ましくは3～300m³/時、より好ましくは3m³/時～150m³/時の流体を生成することが好ましい。充填床を通して流れるのに必要な空気の量は、水含有ガス中の水分レベルおよび捕捉効率に依存することを理解されたい。

30

【0097】

【097】動作時、各ペルチェ素子は、（詳細な説明においてより詳細に説明されるように）高温側および低温側を発達させる。この装置では、各ペルチェ素子の高温側は、好ましくは、少なくとも1つのヒートシンクと熱的に連通し、各ペルチェ素子の低温側は、凝縮器システムの一部を形成する。

40

【0098】

【098】凝縮器システムはまた、周囲のガスからペルチェ素子の低温側への熱伝達を補助するための熱伝達装置を含んでもよい。実施形態では、各ペルチェ素子の低温側は、少なくとも1つの熱伝達装置と熱的に連通している。高温側と同様に、熱伝達装置は、好ましくはヒートシンク（伝導性熱伝達装置）、より好ましくはプレートまたはフィン装置を有するヒートシンクを含む。

【0099】

【099】本発明の第4の態様は、本発明の第4の態様による装置を使用して水含有ガスから水分を捕捉する方法を提供する。本方法は、

成形された水吸着性複合体が水含有ガスから水を吸着するように前記装置の成形された

50

水吸着性複合体の充填床を通して水含有ガスを供給するステップと、

前記少なくとも1つのペルチェ素子を動作させて、前記成形された水吸着性複合体を加熱して、吸着された水の少なくとも一部をそこから生成物流体流れ内に放出するステップと、

前記生成物流体流れを前記凝縮器システムに向かわせて、前記生成物流体流れから水分を分離するステップと、

のうちの少なくとも1つのサイクルを含む。

【0100】

【100】成形された水吸着性複合体を加熱するための少なくとも1つのペルチェ素子の動作は、その低温側から高温側へのペルチェ素子を通して熱を生成することを理解されたい。したがって、少なくとも1つのペルチェ素子の動作はまた、各ペルチェ素子の低温側を動作させ（オンにし）、それによって、凝縮器システムの一部を形成するペルチェ素子の低温側を介して凝縮器システムの動作を開始する。

【0101】

【101】この方法は、周期的な方法であり、成形された水吸着性複体内に水を吸着するステップと、少なくとも1つのペルチェ素子から加熱によって、吸着された水を放出するステップと、その水を凝縮するステップとが、連続的に水を生成するように反復サイクルで行われることを理解されたい。サイクル時間は、典型的には、充填床および吸着システムの構成、成形された水吸着性複体の量、充填床の深さ、破過点、飽和点および特定の充填床の特性、温度、圧力、ヒートシンク構成、ペルチェ素子および他のプロセス条件に依存する。いくつかの実施形態では、この方法ステップのサイクル時間は、持続時間約6時間である。しかしながら、1時間～24時間の他のサイクル時間も、装置および充填床の構成ならびにプロセス条件に応じて可能であり得る。

【0102】

【102】凝縮器システムは、生成物流体流れ（典型的には、同伴水蒸気を有するガス）の水分を分離して水を生成するために使用される。多種多様な凝縮器装置が可能であり、設計されたシステムの特定の要件を満たすように選択されることを理解されたい。凝縮器は、生成物流体流れ中の水蒸気を液体水に変換するために使用される。いくつかの実施形態では、凝縮器は、冷却トラップ、空気コイル、表面凝縮器または別の熱交換デバイスなどの熱伝達／冷却デバイスを含む。

【0103】

水含有ガスから水を捕捉するための磁気スイング装置

【103】本発明の第5の態様は、水含有ガスから水分を捕捉するための装置であって、前記装置が：0.5mm超の少なくとも1つの平均寸法を有し、少なくとも50重量%の水吸着性金属有機骨格と；少なくとも0.1重量%の親水性バインダと、200nm未満の平均粒径を有する0.2～10重量%の磁性粒子とを有する成形された水吸着性複体の充填床をその中に含有するハウジングと；成形された水吸着性複体の前記充填床にAC磁場を印加するように構成された、成形された水吸着性複体の充填床内および／または周囲に位置する交流（AC）磁場発生器と、を含む装置を提供する。

【0104】

【104】本発明のこの第5の態様は、成形体内および成形体上に吸着された水を脱着するために磁気スイング誘導加熱を使用する成形体を含む水捕捉装置を提供する。この態様では、成形体は、ハウジング内に封入された充填床に収集される。ハウジングは、好ましくは流体密封のハウジングである。装置はまた、活性化されたときに、成形された水吸着性複体の充填床から、吸着された水を放出するために、成形された水吸着性複体の充填床にAC磁場を照射するように設計された交流磁場発生器を含む。装置は、成形された水吸着性複体が磁気誘導スイング吸着を受けて、成形された水吸着性複体の充填床に供給される水含有ガスから水を捕捉することを可能にするように構成される。

【0105】

【105】成形された水吸着性複体の充填床に局所的なAC磁場を印加することがで

きる任意のＡＣ磁場発生器を使用することができる。いくつかの実施形態では、ＡＣ磁場発生器は、成形された水吸着性複合体の充填床の中および／または充填床の周囲に位置する少なくとも１つの誘導コイルを備える。好ましくは、１つまたは複数の誘導コイルによって発生する磁場全体を使用するように、１つまたは複数の誘導コイルが、充填床内の成形された水吸着性複体内に埋め込まれ且つ成形された水吸着性複体によって囲まれる。いくつかの実施形態では、１つまたは複数の誘導コイルは、充填床の軸方向高さ（深さ）の５０％～９０％、好ましくは７０～８０％を占める充填床の中央部分内に位置するように構成される。

【０１０６】

【１０６】ハウジングは、流体、好ましくは水分含有ガスおよび生成物流体が流れるように構成された流体入口および流体出口を有する。ハウジングは、任意の適切な構成を有することができる。いくつかの実施形態では、ハウジングは、容器またはキャニスタ、例えば、実質的に円筒形の容器またはキャニスタを備える。ハウジングは、好ましくは、流体密封であり、そのハウジングの入口および出口を通る流体の出入りのみを有する。他の実施形態では、ハウジングは、平坦な高表面積容器を含む。様々な容器およびキャニスタの形状および構成を使用できることを理解されたい。ハウジングは交換可能であってもよく、またはシステム内に固定して設置されてもよい。

【０１０７】

【１０７】複数の前記成形された水吸着性複合体は、好ましくは、充填床システムにおいてハウジング内に配置される。ハウジングは、各膜を通るガス流れを可能にするように構成された２つの離間した支持膜を含むことができ、複数の前記成形された水吸着性複合体は、それらの間に充填床を形成し、好ましくはそれらの間で圧縮される。この第５の態様の装置は、成形された水吸着性複合体の充填床からの流体流れを冷却するための凝縮器システムをさらに含むことができる。様々な凝縮器を使用することができる。実施形態において、凝縮器は、冷却デバイス、例えば冷却トラップを含む。

【０１０８】

【１０８】本発明者らは、本発明のこの態様の装置を用いて飲料水を迅速に生成できることを見出した。この装置は、磁気誘導真空スイング吸着システムにおいて本発明の第１の態様の、成形された水吸着性複合体の充填床を利用して、水含有ガス（湿った空気など）から水を分離して捕捉し、凝縮器を使用してその捕捉された内容物を放出して採取する。

【０１０９】

【１０９】本発明の第６の態様は、本発明の第５の態様による装置を使用して水含有ガスから水分を捕捉するための方法であって、

前記装置の成形された水吸着性複合体が水含有ガスから水分を吸着するように、前記装置の成形された水吸着性複合体の充填床を通して水含有ガスを供給するステップと、

前記装置の交流磁場発生器を使用して前記成形された水吸着性複合体に交流磁場を印加し、それによって前記成形された水吸着性複体内で熱を発生させ、そこからの吸着された水分の少なくとも一部を生成物流体流れに放出するステップと、

前記生成物流体流れを凝縮器に誘導して、前記生成物流体流れから水分を分離するステップと、

のうちの少なくとも１つのサイクルを含む方法を提供する。

【０１１０】

【１１０】本発明のこの第６の態様では、加湿ガス流れを充填吸着カラムに供給する。吸収剤に水蒸気を充填した後、交流磁場を印加する。その結果、ペレットは急速に加熱し始め、水を放出させる。脱着された水は、凝縮器、例えばコールドトラップで凝縮される。したがって、この方法は、磁気誘導加熱の高いエネルギー変換効率を利用する。実施形態では、装置および方法は、９０％超、好ましくは９５％超のエネルギー変換効率を有し、いくつかの実施形態では、最大９８％が達成された。さらに、磁気誘導加熱による急速加熱の使用は、短いサイクル時間を達成することを可能にする。

【０１１１】

【111】この方法は、周期的な方法であり、成形された水吸着性複体内に水を吸着するステップと、AC磁場の印加によって、吸着された水を放出するステップと、その水を凝縮するステップとが、連続的に水を生成するように反復サイクルで行われることを理解されたい。サイクル時間は、典型的には、充填床および吸着システムの構成、成形された水吸着性複体の量、充填床の深さ、破過点、飽和点および特定の充填床の特性、温度、圧力、および他のプロセス条件に依存する。いくつかの実施形態では、この方法ステップのサイクル時間は、持続時間約30分間である。しかしながら、10分～2時間の他のサイクル時間も、装置および充填床の構成およびプロセス条件に応じて可能であり得る。

【0112】

成形された水吸着性複体を形成する方法

10

【112】本発明はまた、第1の態様の吸着システムのための成形された水吸着性複体を形成する方法を提供することができる。この方法は、

少なくとも50重量%の水吸着性金属有機構造体と、少なくとも0.1重量%の親水性バインダと、任意選択で0.2～10重量%の、200nm未満の平均粒径を有する磁性粒子とを含む複合材粉末混合物を調製するステップと、

複合材粉末混合物と溶媒との混合物を含む複合材ペーストを調製するステップと、

複合材ペーストを0.5mm超の少なくとも1つの平均寸法を有する成形体に形成するステップと、

成形体を加熱して成形体から溶媒を実質的に除去するステップと、

それによって充填床吸着システムで使用するための成形された水吸着性複体を製造するステップと、
を含む。

20

【0113】

【113】本発明のこの態様は、本発明の様々な実施形態で使用される成形された水吸着性複体を形成する方法を提供する。この方法では、金属有機構造体と親水性バインダとの粉末混合物を含む複合材粉末混合物（典型的には粉状材料）を、溶媒を用いてペーストに形成し、次いでこれを、例えば押出またはペレット化プロセスによって所望の成形体に形成することができる。

【0114】

【114】成形体を形成するために使用される溶媒は、複合材粉末混合物の成分と良好な相互作用を有する任意の適切な溶媒であり得る。好適な溶媒は、好ましくは、非塩基性極性溶媒および／または非自己イオン化極性溶媒から選択される。溶媒は、好ましくは、メタノール、エタノール、C2～C9アルコール（それらの分岐異性体を含む）などのアルコール、または水、より好ましくは脱イオン水を含む。

30

【0115】

【115】親水性バインダおよび液体溶媒を複合材粉末混合物に添加して、成形プロセスに適したペーストの形成を助ける。複合材ペーストは、厚く、柔らかく、湿った混合物を含むことを理解されたい。ペーストは、好ましくは、形成／成形ステップにおいて所望の構成に成形されるときに形態を保持するのに十分な粘度を有する。溶媒および複合材粉末材料（粉状材料、好ましくは粉末または微粒子）の量は、典型的には、押出またはペレット化などの成形プロセスに適したペースト稠度を提供するように混合される。

40

【0116】

【116】成形体が好ましくは水吸着剤MOFおよび親水性バインダを含むことを理解することも重要である。溶媒は、ペーストを形成するために純粋に使用され、ペーストは、熱処理工程の間に、成形された複合材料から蒸発または除去される。

【0117】

【117】磁性粒子もまた、形成された、成形された複合材料に含まれ得る。これらの実施形態では、複合材粉末混合物は、200nm未満の平均粒径を有する0.2～10重量%の磁性粒子をさらに含む。

【0118】

50

〔118〕複合材ペーストは、様々なプロセスを用いて成形体に形成することができる。実施形態では、複合材ペーストを成形体に形成することは、複合材ペーストを所望の3次元構成に押出成形すること、ペレット化すること、または成形することのうちの少なくとも1つを含む。好ましい方法としては、ロッド押出または錠剤化が挙げられる。成形体が押出成形または同様の方法によって形成され、複合材ペーストが細長い本体に押出成形される場合、その細長い本体は、好ましくはその後、典型的には充填床吸着システムの充填床で使用されるのに適した長さの長手方向に分割される。押出後、押出された細長い本体は、長手方向に分割される前に、ある期間、乾燥、例えば空気乾燥されることが好ましい。その乾燥時間は変動し得るが、典型的には少なくとも10分である。その後、押出成形体を3～5 mm長の成形体、好ましくはペレットに切断する。

10

〔0119〕

〔119〕成形工程は、凝集される材料を安定化する潤滑剤および／または他の追加の物質の存在下で行うことができる。適切な潤滑剤としては、界面活性剤およびそれらの塩が挙げられる。適切な潤滑剤の例としては、ステアリン酸マグネシウム、酸化アルミニウム、オレイン酸ナトリウム、グリセリド、ジグリセリド、トリグリセリド、脂肪酸、シリコン油および鉱油を含む油、ならびにそれらの混合物が挙げられる。添加剤は、成形体を使用される用途に依存することを理解すべきである。潤滑剤は、好ましくは、水がヒトの消費のために生成されているヒトの消費のための承認された賦形剤を含む。ヒトの消費のための承認された賦形剤の例としては、食品または医薬品のための承認された賦形剤が挙げられる。承認された食品グレードまたは医薬品グレードの潤滑剤が好ましい。後述するように、成形体を製造する際に、成形および形成プロセスを補助するために、潤滑剤が混合物に添加される。いくつかの実施形態では、潤滑剤を粉末混合物中でバインダと混合して、粉末混合物の一部を形成することができる。他の実施形態では、潤滑剤は、成形デバイス、例えば押出機またはペレタイザーの表面に塗布されて、外面のみを潤滑する。結果として得られる成形された水吸着性複合体は、好ましくは0.5重量%未満の潤滑剤、好ましくは0.1重量%未満の潤滑剤を含む。

20

〔0120〕

〔120〕1つの成形体または複数の成形体は、好ましくは、複数の成形体が2つの支持体表面の間に0.10～0.5 kg/L、好ましくは0.25～0.4 kg/Lの高い充填密度で充填される充填床吸着システムでの使用に適した寸法で形成される。成形体の寸法は、この用途に適するように最適化することができる。成形された水吸着性複合体は、充填床吸着システムで使用される場合、0.5 mmを超える少なくとも1つの平均寸法を有する。これは、吸着性複合体がガス流れをまわすのに十分なサイズを有することを確実にする。例えば、微粉末（例えば、10ミクロン未満の平均粒径を有する）は、充填床吸着システムの充填床で使用するには高密度すぎる充填を提供する。いくつかの実施形態では、前記成形体が、0.8 mm超、好ましくは少なくとも1 mm、好ましくは少なくとも1.2 mm、さらにより好ましくは少なくとも1.5 mmの少なくとも1つの平均寸法を有する。好ましくは、前記成形体の平均幅、平均深さおよび平均高さのそれぞれが、0.5 mm超、好ましくは1 mm超である。

30

〔0121〕

〔121〕成形体は、任意の好適な形状を有するように形成することができる。成形された水吸着性複合体の形状は、（複合体の近傍における）局所的な流体流れの圧力降下に、したがって、任意の充填床吸着システムの性能に影響を与える。例えば、成形体は、ペレット、例えばディスク状ペレット、ピル、球、顆粒、押出物、例えばロッド押出物、ハニカム、メッシュまたは中空体を含むことができる。実施形態において、成形体は、3次元であり、好ましくは3次元に成形される。特定の実施形態では、成形体は、円形または正多角形の断面形状を有する細長い本体を含む。好ましい実施形態では、成形体は、三角形の断面形状、より好ましくは正三角形の断面形状を含む。例えば、成形体は、正方形または三角形の断面形状を有してもよい。一形態では、成形体は正三角形の断面を有し、好ましくは正三角形の辺は、長さが少なくとも1 mm、好ましくは長さが1.0～1.5 m

40

50

mである。細長い成形体の長さ（長手方向の長さ）は、1～5 mmであることが好ましく、1～4 mmであることがより好ましい。いくつかの実施形態では、細長い成形体は、長さが3～5 mmである。

【0122】

【122】加熱工程は、好ましくは、成形体から溶媒を除去するのに十分な時間行われる。加熱工程は、好ましくは、80～150℃、好ましくは90～120℃の温度で行われる。加熱工程は、少なくとも1時間、好ましくは少なくとも2時間、より好ましくは少なくとも5時間、さらにより好ましくは少なくとも8時間、さらにより好ましくは少なくとも10時間行うことができる。同様に、圧力は、溶媒除去を補助するように選択される。実施形態において、圧力は、100 mbar未満、好ましくは50 mbar未満、より好ましくは35 mbar未満である。他の実施形態では、圧力は500 mbar未満である。いくつかの実施形態では、加熱工程は、不活性（insert）ガス雰囲気、例えば窒素またはアルゴン中で行われる。

10

【0123】

【123】加熱工程は、水吸着剤MOFの細孔が水分または溶媒を含まないことを確実にするために、1つまたは複数の成形された吸着体が高温で乾燥される追加の活性化工程を含むことができる。いくつかの実施形態では、この活性化加熱工程は、成形された吸着体を少なくとも120℃、好ましくは120～150℃で少なくとも5時間、好ましくは少なくとも6時間、より好ましくは6～10時間、より好ましくは6～8時間加熱することを含む。活性化加熱工程は、好ましくは200 mbar未満、好ましくは100 mbar未満、より好ましくは50 mbar未満の減圧下で行われる。いくつかの実施形態では、成形された吸着体は、MOFを活性化するために6～8時間の間、200 mbar未満、好ましくは100 mbar未満、より好ましくは50 mbar未満の圧力で130℃の温度に加熱される。

20

【0124】

【124】他の実施形態では、成形された吸着体は、不活性ガス流れ、例えば乾燥窒素流れ中の交流磁場でそれらをトリガすることによって活性化することができる。成形された吸着体の活性化は、出てくるガス流れの湿度が0になるまで行うことができる。

【0125】

【125】加熱後、材料は、好ましくは、最大500 mbar、好ましくは最大100 mbarの減圧下で、最大80℃、好ましくは最大60℃に冷却される。

30

【0126】

【126】本発明の実施形態による装置および方法から生成される水は、以下を含むがこれらに限定されない任意の目的に使用することができることを理解されたい。

- ・エネルギー生産または化学物質の合成などのための基質としての水。
- ・医療用または実験室用などの超純水などの特殊用途の水。
- ・防衛または医療分野で使用するための水。
- ・農業、灌漑、消火などの工業用途のための水。
- ・家庭での使用、ボトル水、食品製造などの消費用の水。

【0127】

【127】次に、本発明の特定の好ましい実施形態を示す添付の図面を参照して本発明を説明する。

【図面の簡単な説明】

【0128】

【図1A】 【128】本発明の一実施形態による、水含有ガスから水分を捕捉するための磁気誘導スイング装置の概略図である。

【図1B】 【129】本発明の別の実施形態による、水含有ガスから水分を捕捉するための磁気誘導スイング装置の概略図である。

【図1C】 【130】ヒートシンク（CPU冷却器）およびペルチェ素子を含む、本発明の一実施形態による、水含有ガスから水分を捕捉するための温度スイング装置の概略図で

40

50

ある。

【図1D】 [131] ヒートシンク（CPU冷却器）およびペルチェ素子を含む、本発明の一実施形態による、水含有ガスから水分を捕捉するための実験的溫度スイング装置の写真である。

【図1E】 [132] (A) 吸着段階中、および (B) 脱着段階中に動作されるとき、図1Cに示される熱サイクル採水デバイスの動作の概略図を提供する。

【図2A】 [133] フマル酸アルミニウム合成に使用した実験装置の写真である。

【図2B】 [134] 洗浄手順後の生成したフマル酸アルミニウムの写真である。

【図2C】 [135] 図1A～図1Dに示す装置の充填床で利用される本発明の一実施形態による成形された吸着体の概略図である。

【図3A】 [136] 成形されたフマル酸アルミニウム複合ペレットを生成するために使用された手動押出機および三角形ノズルの写真である。

【図3B】 [137] ペレット形成プロセスの概略図を提供する。

【図4】 [138] 生成されたフマル酸アルミニウムおよびフマル酸アルミニウム複合ペレットを示す写真であり、(A) 初期MOF、(B) 1重量%のバインダ、(C) 1重量%のMNP、(D) 3重量%のMNP、および (E) 5重量%のMNPである。

【図5】 [139] 誘導加熱実験に使用した実験装置の概略図である。

【図6】 [140] 実験的磁気誘導スイング水捕捉リグの概略図である。

【図7】 [141] フマル酸アルミニウム、シミュレートされたフマル酸アルミニウムおよび1重量%のバインダを含むフマル酸アルミニウム（バッチI）のPXRDパターンを提供する。

【図8】 [142] 異なるフマル酸アルミニウム磁性複合材、1重量%のバインダを有するフマル酸アルミニウム（バッチI）および参照としてのマグネシウムフェライトのPXRDパターンを提供する。

【図9】 [143] フマル酸アルミニウム磁性複合材、フマル酸アルミニウム（バッチII）および参照としてのマグネシウムフェライトのPXRDパターンを提供する。

【図10】 [144] フマル酸アルミニウム金属有機構造体（バッチII）のSEM画像を提供する。倍率：10000倍。

【図11】 [145] マグネシウムフェライトナノ粒子のSEM画像を提供する。倍率：10,000倍。

【図12】 [146] 10000倍の倍率でのフマル酸アルミニウム磁性構造体複合材（バッチII）のSEM画像を提供する。Aでマークされた丸で囲まれた部分は、複合材中のマグネシウムフェライトナノ粒子の位置を示す。

【図13】 [147] 磁性ナノ粒子充填量の関数としてのフマル酸アルミニウム複合材の平均BET表面積を提供する。

【図14】 [148] フマル酸アルミニウムMOFペレット（バッチI）の細孔径分布のプロットを提供する。

【図15】 [149] フマル酸アルミニウムペレットの窒素等温線を提供する。

【図16】 [150] (a) 1重量%のバインダ (b) 1重量%のMNP (c) 3重量%のMNP (d) 5重量%のMNPを含有するフマル酸アルミニウム複合ペレットの細孔径分布のプロットを提供する。。

【図17】 [151] 室温で収集したフマル酸アルミニウムバッチIおよびフマル酸アルミニウムバッチI複合ペレットの水蒸気吸着等温線を示す。

【図18】 [152] 室温で収集したフマル酸アルミニウムバッチIIおよびフマル酸アルミニウムバッチII複合ペレットの水蒸気吸着等温線を提供する。

【図19】 [153] 異なるMNP濃度を有するフマル酸アルミニウム磁性構造体複合材の誘導加熱の初期加熱速度のプロットを提供する。電界強度は12.6mTであった。

【図20】 [154] 異なるMNP充填量を有するフマル酸アルミニウム磁性構造体複合材の誘導加熱の効率のプロットを提供する。電界強度は12.6mTであった。

【図21】 [155] 窒素流れからの水蒸気の吸着についての時間に対する正規化相対湿

10

20

30

40

50

度のプロットを提供する。

【図22】[156] 水分の吸着中のフマル酸アルミニウム複合材の温度プロファイルのプロットを提供する。

【図23】[157] 再生中に流出する流れについての時間に対する正規化された相対湿度のプロットを提供する。

【図24】[158] 水蒸気の再生中のフマル酸アルミニウム複合材の温度プロファイルのプロットを提供する。

【図25】[159] (A) 第1のバッチのA l F u (フマル酸アルミニウム (I)) ; (B) フマル酸アルミニウム (I) およびセルロースシロキサンバインダを含むペレット ; (C) 第2のバッチのA l F u (フマル酸アルミニウム (II)) ; ならびに (D) フマル酸アルミニウム (II) およびヒドロキシプロピルセルロースバインダを含むペレットの水蒸気取り込み等温線を比較するプロットを提供する。

10

【図26】[160] 電源および測定機器を含む、図1Cおよび1Dに示される温度スイング採水デバイスのための試験リグのセットアップを示す。

【図27】[161] 3つのバッチ (バッチ__01、バッチ__02およびバッチ__03) のそれぞれについてのペレット化プロセス後の1重量%のバインダを有するフマル酸アルミニウムのFTIRパターンおよび初期のフマル酸アルミニウムのFTIRパターンを示す。

【図28】[162] ペレット化プロセス後の3つの押出成形物すべての、初期のフマル酸アルミニウムおよび1重量%のバインダを有するフマル酸アルミニウムのPXRDパターンを示す。比較のためのシミュレートされたパターン。

20

【図29】[163] 本研究で製造されたフマル酸アルミニウムペレット (ペレット__02) (正方形) の26℃での水取り込み等温線、およびTeoら[28]からのフマル酸アルミニウムの文献データ (菱形) を示す。

【図30】[164] 8.85 g m^{-3} の湿度での吸着段階の質量記録を示す。このデータを使用して、全ての採水サイクルについて理論吸着時間を計算する。

【図31】[165] 採水サイクル12、14、15、16および17に対応する異なる凝縮時間にわたる空間時間収率および比エネルギーをプロットする採水デバイスの凝縮時間の最適化を示す。

【図32】[166] 採水サイクル16、18、19および20に対応する異なる脱着温度にわたる空間時間収率および比エネルギーをプロットする採水デバイスの脱着温度の最適化を示す。

30

【図33】[167] 採水サイクル16の吸着の温度および相対湿度を示す。

【図34】[168] 採水サイクル16の脱着段階中の採水デバイス内の温度を示す。

【図35】[169] 採水サイクル16の脱着段階中の採水デバイス内の相対湿度、露点および凝縮器温度を示す。

【図36】[170] 採水サイクル24の吸着の温度および相対湿度を示す。

【図37】[171] 採水サイクル24の脱着段階中の採水デバイス内の温度を示す。

【図38】[172] 採水サイクル24の脱着段階中の採水デバイス内の相対湿度、露点および凝縮器温度を示す。

40

【図39】[173] 採水サイクル22の吸着の温度および相対湿度を示す。

【図40】[174] (A) 外部ハウジング、および (B) ルーバーシステムを含む内部構成要素を示す、温度スイング採水実施形態を使用するプロトタイプ水捕捉装置の2つの図を提供する。

【発明を実施するための形態】

【0129】

[175] 本発明は、MOFベースの水吸着剤の採水サイクルの吸着段階および脱着段階の選択的制御を提供する装置を提供する。装置は、MOFベースの水吸着剤が不活性化状態にあるときに水を吸着することを可能にし、次いで、活性化状態にあるときに水吸着剤から水を脱着するために脱着条件を水吸着剤に適用する水脱着装置を含む。非活性化状

50

態と活性化状態との間での水脱着装置のこの選択的な動作は、例えば太陽エネルギーを利用することと比較して、金属有機構造体ベースの水吸着剤から水を脱着するためにより効率的なエネルギー脱着装置を使用して、水脱着装置の効率を最適化することを可能にし、いくつかの実施形態では、任意の生成物ガス流れの水分を同時に凝縮することができる。

【0130】

吸着装置

【176】水脱着装置は、吸着された水を水吸着剤から脱着させるために熱および／または減圧が使用されるかどうかに応じて、任意の数の形態をとることができる。いくつかの実施形態では、装置は、圧力スイング吸着のために設計され、脱着は、例えば、真空ポンプを使用して圧力を低下させ、水吸着剤の周囲からガスを排出することによって達成される。吸着は、典型的には、大気圧付近で行われる。他の実施形態において、温度スイング吸着は、採水を達成するために行われる。これは、直接加熱法を用いて、または場合によっては磁気誘導スイング吸着を用いて達成することができる。

【0131】

磁気スイング水吸着装置

【177】場合によっては、装置は、大気などの水含有ガスから水分を採取するための磁気スイング水吸着装置として構成することができる。このタイプの装置200の一形態を図1Aまたは図1Bに示す。

【0132】

【178】図1Aおよび図1Bは、上述したような磁性粒子を配合した、成形された水吸着性複合体を使用する水含有ガスから水分を捕捉するための装置200を示す。装置200は、入口208および出口211を含む円筒形ハウジング205を含む。ハウジング205は、成形された水吸着性複合体100（図2C参照）の充填床215を含み、その組成は以下により詳細に記載される。ハウジング205の基部および蓋／頂部に近接する流体分配器ディスク210は、ディスク205間に、成形された吸着材料215を保持するために使用される。各流体分配器ディスク210は、充填された、成形された吸着材料を通して流体が流れることを可能にするために貫通して穿孔された複数の穴を有する金属ディスクを備える。成形された吸着材料は、ディスク210の間に、圧縮された充填床を形成し、その間で圧縮され、その結果、吸着剤成形体100は、その中に密に充填され、それによって流れの短絡を回避する。

【0133】

【179】図1Aに示される実施形態では、交流（AC）誘導コイル250は、成形された水吸着性複合体100の充填床215内に位置し、成形された水吸着性複合体100によって囲まれる（図2C）。誘導コイル250は、成形された水吸着性複合体の充填床215にAC磁場を印加するように構成される。誘導コイル250は、誘導コイル250が動作するときに印加磁場の使用を最適化するために、充填床215内に埋め込まれる。

【0134】

【180】ハウジング205は、容器から周囲への磁場漏れを低減するための磁気減衰材料255を含む。これは、磁場が近傍の機器の動作におもわず影響を及ぼし得る、または人もしくは物体を照射し得る、いくつかの用途において重要であり得る。

【0135】

【181】図1Bに示される実施形態では、交流（AC）誘導コイル250は、ハウジング205の外部であるが、成形された水吸着性複合体100の充填床215の周囲に延在するハウジングの周囲の場所に位置する。ここでも、誘導コイル250は、成形された水吸着性複合体の充填床215にAC磁場を印加するように構成される。しかしながら、この誘導コイル250の位置決めは、ハウジングの材料を通した損失のために、図1Aに示されるようにエネルギー効率的ではないことを理解されたい。さらに、図1Bには示されていないが、周囲への磁場漏れを低減するために磁気減衰材料255を含む誘導コイルを封入するために、さらなるハウジングを使用することができる。

【0136】

【182】 使用時には、水含有ガスは、成形された水吸着性複合体が水含有ガスから水を吸着するように、成形体の充填床215を通して流される。充填床215が所望の飽和（典型的には、70～90%の飽和点）に達すると、誘導コイル250が作動されて交流磁場を印加し、それによって、成形された水吸着性複体内に熱を発生させ、吸着された水の少なくとも一部を生成物流体流れ内に放出する。したがって、成形された水吸着性複合体は、磁気誘導真空スイング吸着を受けて、成形された水吸着性複合体215の充填床内に供給される水含有ガスから水を捕捉する。

【0137】

【183】 図1Aまたは図1Bには示されていないが、凝縮器を使用して、その後、生成物流体流れ（典型的には、同伴された水蒸気を有するガス）の水分を分離して、捕捉された水生成物を生成することができる。低圧もしくは減圧（真空環境と呼ばれることもある）、または正圧ガス流れ、例えば、水含有ガスまたは不活性もしくは他の乾燥ガスなどの別のガスの流れが、放出された水を凝縮器に導く。

10

【0138】

【184】 上述の方法は周期的に適用され、成形された水吸着性複合体100に水を吸着させるステップと、AC磁場の印加によって、吸着した水を放出させるステップと、その水を凝縮させるステップとが、連続的に水を生成するように反復サイクルで行われる。

【0139】

温度スイング水吸着装置

【185】 本発明の実施形態に従って構成された温度スイング採水装置300が、図1C、図1Dおよび図1Eに示されている。

20

【0140】

【186】 図1Cおよび図1Dに示される装置300は、ペルチェ素子310の廃熱を使用して、（以下で議論されるヒートシンク320を介して）ペルチェ素子310の高温側312と熱接触して配置される成形されたMOF複合体100（その組成は、以下でより詳細に説明される）を加熱し、成形MOF複合体における吸着された水の脱着を促進するように構成される。ペルチェ素子310の低温側314は、脱着された水蒸気を凝縮するために同時に使用することができ、凝縮された水は、ペルチェ素子310の下で液体生成物として収集することができる。

【0141】

30

ペルチェ素子

【187】 ペルチェ素子は、一般に「ペルチェ効果」と呼ばれる、電気エネルギーを温度勾配に変換する能力を有する熱電デバイスである。一对の異なる金属材料に印加された電流は、半導体の一方の側の高温表面および他方の側の低温表面をもたらし、電流の流れに垂直な半導体を通る熱流を生成する。直列に結合されたp型およびn型半導体材料の単一の対は、電流がn型半導体からp型半導体に印加されるときに温度勾配を生成するのに十分である。電子がp型半導体からn型半導体に流れるペルチェ素子の低温側が形成され、高温側は、n型半導体からp型半導体への遷移上に現れる熱流 Q_{dis} を有する。ペルチェ素子の放散される熱は、ペルチェ素子の低温側での吸収される熱のために電力よりも高いことを理解されたい。

40

【0142】

【188】 ペルチェ素子は、典型的には、デバイス当たり3～127個の半導体対から構成される。半導体は、電氣的に直列に接続され、熱的に並列に接続される。一般的に利用可能なペルチェ素子における熱流は、1W～125Wである。ペルチェ素子の高温側と低温側との間の温度差は、単段デバイスでは最大70Kであり、多段デバイス（直列に接続されたいくつかのペルチェ素子）では最大130Kである。

【0143】

【189】 機械的応力は、高い温度差、したがって低温側と高温側との間の材料膨張差に起因してペルチェ素子内で発生し得る。したがって、ペルチェ素子の寸法は、そのような機械的応力の問題を低く保つために、典型的には50×50mmに制限される。現在の

50

ペルチェ素子はまた、特定のペルチェ素子に使用される半導体材料の利用可能な特性に主に起因して、可能なカルノー効率の約10%の低い効率に悩まされる。

【0144】

温度スイング脱着

【190】図1Cおよび図1Dは、温度スイング採水装置300の実施形態を示す。図示のように、デバイス300は、容器本体332および封止蓋334を有する密封可能な容器330を含む。容器本体332は、容器330内に(i)上部水吸着-脱着チャンバ340と、(ii)下部凝縮器チャンバ342とを画定するために、スペーサ339を使用して容器本体332の基部から離間して配置されたポリカーボネートプレート338を収容する。容器330は、取り外し可能な封止蓋334を使用して封止可能である。容器本体332内には、採水デバイス350が配置されている。採水デバイス350は、以下のセクションを含む。

(A)．複数の離間したフィン352を含むヒートシンク320。詳細には示されていないが、離間したフィン352の各々の間の空間は、その中に充填床355を形成する、成形された水吸着性複合体100で充填される。

(B)．ヒートシンク320と熱的に連通する高温側312と、下部凝縮器チャンバ342のガス空間と熱的に連通する低温側314とを有するペルチェ素子310。ペルチェ素子310は、採水サイクルの脱着段階中にヒートシンク320内の、成形された水吸着性複合体100を加熱するように構成される(以下参照)。

(C)．凝縮器342内に配置された凝縮器システム360は、ペルチェ素子310の低温側314を使用して、充填床355から生成される水蒸気の流体流れを冷却し、容器330の基部で液体生成物として水を凝縮させ、収集する。

【0145】

【191】図1C、図1Dおよび図1Eに示す装置300は、温度スイング採水サイクルの脱着段階中にペルチェ素子310の低温側314および高温側312の両方を利用する。ペルチェ素子310の高温側312の放散された熱は、成形されたMOF複合体100から水を脱着するために、脱着段階中に、成形されたMOF複合体100を加熱するための温度スイング脱着サイクルにおいて使用することができる。低温側314を使用して、生成された水蒸気から熱を吸着(adsorb)し、凝縮器システム/チャンバ内でその水を凝縮させて、水を液体生成物として収集することができる。

【0146】

【192】この用途では、ペルチェ素子を選択する際の重要な基準は以下の通りであることを理解されたい。

- ・ペルチェ素子の高温側で水がMOF複合材から脱着されるように十分な加熱を提供する能力。

- ・凝縮が起こるように凝縮器システムにおける露点より低くなるようにペルチェ素子の低温側に十分な冷却を提供する能力。

- ・信頼性および耐腐食性を含む他の要因。

これを可能にするための最も低い電力のペルチェ素子は、最も高い効率のデバイスをもたらす。

【0147】

【193】図示されるシステム(図1D参照)では、採水デバイス350は、10Lの密封可能な食品容器内に取り付けられる。ヒートシンク320は、2つのNH-D15S(Rascom Computer distribution Ges.m.b.H., Wien(オーストリア))CPU冷却器を備える。しかし、他の適切なヒートシンク構成も同様に使用できることを理解されたい。このタイプのCPU冷却器は、1.0634m²の表面積および0.9967Lの自由体積を有する。このタイプのヒートシンク320は、ペルチェ素子の寸法が、(前述のような)熱応力の問題のために約40mm×40mmのサイズに制限されるときに使用される。ヒートシンク320は、熱がペルチェ素子(複数可)310からはるかに大きい表面に分配されることを確実にし、充填床355内

における、成形されたMOF複合体を加熱するための伝導性熱伝達のために使用することができる。

【0148】

【194】 ヒートシンク320は、ペルチェ素子上へ完全に嵌合する取り付けソケットを有し、12個のヒートパイプ356によって90個の金属フィン352へ熱を伝導する。45個のフィン352は、1.92mmの距離で互いの上に積み重ねられる。これらのヒートシンク320のスタックのうちの2つが、ヒートシンク320の取り付けソケット上に並んで組み立てられる。12Vファン370は、2つのヒートシンク320のスタックの間に取り付けられ、吸着および脱着段階中にフィン352の間の自由体積を通る空気流れを提供する。しかしながら、ファンは、ヒートシンク320スタックに近接する他の位置に含まれ得ることを理解されたい。ヒートシンク320およびペルチェ素子310は、ポリカーボネートプレート338上に取り付けられる。ヒートシンク320はねじを用いてペルチェ素子310に固定されている。ペルチェ素子310とヒートシンク320との接続面には、熱グリースが塗布されており、この接続により十分な熱流を確保する。ファン370は、 $3\text{ m}^3/\text{時} \sim 200\text{ m}^3/\text{時}$ の流量を生成するように選択される。図示の実施形態では、ファンは、 $140\text{ m}^3/\text{時}$ までの流量が可能な12Vファンを含む。ほとんどの試験運転では、約 $30\text{ m}^3/\text{時}$ を発生させる低い設定に設定した。この流量は、周囲湿度条件に従って調整することができる。

10

【0149】

【195】 図示されていないが、追加の小型ヒートシンクをペルチェ素子310の低温側314に固定して、水の凝縮のための表面積を増大させることができる。小型ヒートシンクを有するペルチェ素子310の低温側314は、採水デバイス350の凝縮器システム360を形成することを理解されたい。

20

【0150】

【196】 上述のように、フィン352間の自由体積は、成形されたMOF複合体100で充填される。図示の実施形態（図1C～図1E）では、MOF複合体100は、一辺の長さ $S = 1.5\text{ mm}$ 、長さ $L = 3\text{ mm}$ の三角形形状ペレットのフマル酸アルミニウムを含む（図1参照）。ヒートシンク320は、ヒートシンク320のフィン352の間にペレットを保持するのに十分小さい開口を有するネット（図示せず）で封止される。ネットは、1mmの開口を有する市販のフライワイヤを含む。200.30gのMOFペレットをフィン352の間に充填する。これは、 0.20 kg/L の充填密度に等しい。したがって、198.30gのフマル酸アルミニウムを採水デバイス350の吸着剤として使用する。

30

【0151】

【197】 図示の試験リグ（図1Dおよび図26を参照）では、6つの熱電対375がヒートシンク320に固定されて、脱着段階中のMOF充填床355内の温度および温度分布を観察する。6のつの熱電対は、ヒートシンク320の2つの側面のうちの1つに配置される。熱電対のうちの3つは、3つの異なる高さでフィン352の中心にある。他の3つの熱電対は、3つの異なる高さでフィン352の右側にある。

【0152】

40

【198】 この装置600を使用する採水サイクル（WHC）は、以下の2つの段階で設計することができる。

1. 吸着段階（図1E（A））—その間に、密閉可能な容器330が環境に対して開かれ（すなわち、蓋334が取り外され）、ファン370を使用してヒートシンク320内のMOF充填床355を通して空気が吹き込まれる。空気中の水は、充填床355の成形された水吸着性複合体100に吸着される。この段階の間、ペルチェ素子310はオフに切り替えられる。充填床355が所望の飽和（典型的には70～90%飽和点）に達すると、蓋334を容器本体332上に配置して容器330を密封し、ペルチェ素子310のスイッチを入れて脱着段階を開始する。

2. 脱着段階（図1E（B））—ペルチェ素子310がオンに切り替えられ、ヒートシ

50

ンク 3 2 0 内の充填床 3 5 5 が高温まで加熱されて、容器 3 3 0 が密閉されている間に、充填床 3 5 5 内の成形された水吸着性複合体 1 0 0 からの吸着された水の少なくとも一部を生成物流体流れに放出する。容器 3 3 0 内の相対湿度は高い値に上昇し、ペルチェ素子 3 1 0 の低温側 3 1 4 で水が凝縮する。液体の水は、各採水サイクルの後、ペルチェ素子 3 1 0 の低温側 3 1 4 の下に集められる。

【 0 1 5 3 】

【 1 9 9 】 上述の採水サイクルは周期的に適用され、成形された水吸着性複合体 1 0 0 内に水を吸着するステップと、ペルチェ素子の動作を通じて、吸着された水を放出するステップと、その水を凝縮するステップとが、連続的に水を生成するように反復サイクルで行われる。

【 0 1 5 4 】

吸着媒体

【 2 0 0 】 図 1 A ～ 図 1 E に示す装置は、それぞれ、水吸着剤として充填床内の成形された水吸着性複合体 1 0 0 (図 2 C) を使用する。しかしながら、金属有機構造体複合材は、本発明の装置において、特定の装置構成に適した任意の形態で提供することができることを理解されたい。本発明者らは、これが、成形体 (例えば、ペレットまたは押出物) 、コーティング、プレート、シート、ストリップなどを含む (がこれらに限定されない) 任意の数の複合形態であり得ることを想定する。

【 0 1 5 5 】

成形された金属有機構造体複合体

【 2 0 1 】 図 1 A ～ 1 E に示される装置に関連して議論される装置において使用される成形された水吸着性複合体 1 0 0 (図 2 C) は、水吸着性金属有機構造体 (M O F) と、充填床吸着システムにおける使用のために最適化される親水性バインダとの混合物を含む。その混合物は、少なくとも 5 0 重量 % の水吸着性金属有機構造体と、少なくとも 0 . 1 重量 % の親水性バインダとからなる。

【 0 1 5 6 】

【 2 0 2 】 図 1 A および図 1 B に示す実施形態では、成形された水吸着性複合体 1 0 0 は、磁気誘導スイング吸着システムを使用して水を採取するように構成される。これらの実施形態では、成形された水吸着性複合体は、2 0 0 n m 未満の平均粒径を有する 0 . 2 ～ 1 0 重量 % の磁性粒子をさらに含有する。組成物形態における磁性粒子の使用は、誘導発熱を水脱着に使用することを可能にする。磁性構造体複合材として知られるこのタイプの複合材は、M O F の並外れた吸着性能と磁気誘導加熱の高い効率とを組み合わせる。

【 0 1 5 7 】

【 2 0 3 】 金属有機構造体複合材料は、充填吸着システムでの使用に適した任意の構成に成形することができる。本発明では、金属有機構造体複合材料は、例えば図 2 C に示すような三角形の断面を有する細長い形状の水吸着性複合体 1 0 0 として例示される。しかしながら、他の形状、例えば、球形、円筒形、立方体、卵形なども同様に使用できることを理解されたい。

【 0 1 5 8 】

【 2 0 4 】 図 2 C を参照すると、成形された水吸着性複合体 1 0 0 は、正三角形の断面形状を有する細長い本体を含む。正三角形の辺 S は、長さが少なくとも 1 m m 、好ましくは長さが 1 . 0 ～ 1 . 5 m m である。成形された水吸着性複合体の長さ (長手方向の長さ、L) は、1 ～ 5 m m であることが好ましく、1 ～ 4 m m であることがより好ましい。細長い三角形の形状は、充填床 (例えば、図 1 A および図 1 B に示す充填床 2 1 5) 内の成形された水吸着性複合体 1 0 0 の充填密度を増加させるように選択される。以前の研究は、この形状が充填床構成において最も高い充填密度の 1 つを有することを示した。最適な利用および適用される熱源からの熱発生のためには、高い充填密度が好ましい。例えば、円柱状のペレット形状は、約 0 . 1 9 k g / L の充填密度を有する。細長い正三角形のペレットは、約 0 . 2 9 k g / L の充填密度を有する。

【 0 1 5 9 】

水吸着性金属有機構造体

〔205〕成形された水吸着性複合体100において使用される水吸着性金属有機構造体は、適切な水吸着剤MOFの範囲から選択することができる。例えば、その内容がこれらの参照によって本明細書に組み込まれることが理解されるべきであるFurukawa et al. "Water Adsorption in Porous Metal-Organic Frameworks and Related Materials" Journal of the American Chemical Society 136 (11), March 2014およびH. W. B. Teo and A. Chakraborty 2017 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 272 012019において議論されるような、多種多様な水吸着剤MOFが知られる。選択された実施形態において、水吸着性金属有機構造体は、フマル酸アルミニウム、MOF-303 (Al)、MOF-573 (Al)、MOF-801 ($Zr_6O_4(OH)_4$ (フマル酸塩)₆)、MOF-841 ($Zr_6O_4(OH)_4$ (MTB)₂ (HCOO)₄ (H₂O)₄)、 M_2Cl_2BTDD (Co_2Cl_2BTDD を含む)、Cr-soc-MOF-1、MIL-101 (Cr)、CAU-10、アルカリ金属 (Li^+ , Na^+) ドープMIL-101 (Cr)、MOF-802 ($Zr_6O_4(OH)_4$ (PZDC)₅ (HCOO)₂ (H₂O)₂)、MOF-805 ($Zr_6O_4(OH)_4$ [NDC-(OH)₂]₆)、MOF-806 ($Zr_6O_4(OH)_4$ [NDC-(OH)₂]₆)、MOF-808 ($Zr_6O_4(OH)_4$ (BTC)₂ (HCOO)₆)、MOF-812 ($Zr_6O_4(OH)_4$ (MTB)₃ (H₂O)₄)、またはそれらの混合物のうちの少なくとも1つを含む。好ましい水吸着性金属有機構造体は、フマル酸アルミニウム、MOF-303 (Al)、MOF-801、MOF-841、 M_2Cl_2BTDD 、Cr-soc-MOF-1、およびMIL-101 (Cr) である。

〔0160〕

〔206〕水吸着MOFの選択を最適化することは、以下を含むいくつかの考慮事項を伴う。

1. 水安定性—MOFは水安定性であるべきである。
2. 吸着再現性、MOFは、複数の吸着／脱着サイクル、好ましくは少なくとも10サイクル、より好ましくは少なくとも100サイクルの後に吸着能力を保持すべきである。
3. 製造の容易さ、MOFは、容易に入手可能な前駆体材料から容易に製造されるべきである。
4. 低い湿度値でさえ空気からの高い水取り込み。

5. 水に対する良好な親和性。MOFは、MOFが水を吸着することを可能にするために水に対して十分に良好な親和性を有するべきであるが、そこから水を脱着するために過剰なエネルギーを消費する必要があるほど水に対して高すぎる親和性を有するべきではない。ここで、水の吸着および脱着の熱力学は、MOFがそこから水分を脱着するために過剰なエネルギー (kJ/mol MOF) を必要とせず、それによってシステムのエネルギー効率に悪影響を及ぼさないことを確実にするために考慮する必要がある。MOFについての水の典型的な吸着熱は、MOFに吸着された水について10～100 kJ/mol MOF (550～5500 kJ/kg) の範囲である。水のコストは、MOFから水を脱着するのに必要なエネルギーに直接関連するので、注意深いMOFの選択は、デバイスの動作にとって重要である。

〔0161〕

〔207〕MOFがヒトの消費のための水生成に必要とされる場合、MOFおよび他の材料はまた、関連する国におけるヒト消費規制のための食物を満たさなければならない。本出願人は、これらの実施形態において、水吸着剤MOFが好ましくはフマル酸アルミニウム (AlFu) MOFを含むことを見出した。AlFuの水吸着特性は、公開された文献において利用可能な多数の研究において公開されている。

〔0162〕

フマル酸アルミニウム

【208】フマル酸アルミニウム（AlFu）は、成形された水吸着性複合体100における好ましいMOFとして使用される。AlFuの構造および水吸着特性は、例えば、その内容がこの参照によって本明細書内に組み込まれることになると理解されることになるTeo et al.（2017）、フマル酸アルミニウムへの水の吸着に関する等温線および動力学の実験的研究、International Journal of Heat and Mass Transfer Volume 114, November 2017, Pages 621–627において詳細に説明されるように、良く知られている。Teoに概説されているように、AlFuの結晶構造は、MIL-53に似ており、これはまた、フマル酸塩リンカーによって連結された無限のAl(OH)Al鎖からなる。AlFuは、正方形のチャンネルを有する式 $[Al(OH)(O_2C-CH=CH-CO_2)]$ の永久多孔質3D構造を有する。

10

【0163】

【209】全体として、フマル酸アルミニウムは、以下に起因して本発明の水捕捉装置およびシステムのためのMOFの好ましい選択肢として選択された。

1. 製造の容易さ—このMOFは水中で合成することができる。合成後、MOFの処理は、実施例に概説されるように単純である。

2. 良好な熱安定性および高い水安定性（多くの他のMOFとは異なる）。

3. それは、周囲条件での取り扱いに対して頑強であり、劣化することなく複数の温度サイクルに耐えることができる。

4. それはよく研究された水吸着挙動を有する。

20

5. 低い湿度値でさえ空気からの高い水取り込み；フマル酸アルミニウムは、相対湿度に応じて、MOF 1グラム当たり0.09～0.5グラムの水の水容量を有する。水に対するフマル酸アルミニウムの典型的な吸着熱は周知であり、周囲湿度に応じて60～30 kJ/molの範囲である。

6. それは、非毒性成分／前駆体材料を使用して安価かつ容易に製造することができる、すなわち、環境に優しい合成であり、取り扱いおよび加工が容易である。

7. その成分の低いコスト。

【0164】

【210】それにもかかわらず、本発明のMOF成分は、フマル酸アルミニウムに限定されず、他の水吸着剤MOFもまた、水吸着性複合体の組成物において使用され得ることが理解されるべきである。

30

【0165】

親水性バインダ

【211】適切なバインダの選択は、成形された吸着体の全体的な特性にとっても重要である。本発明者らは、驚くべきことに、成形された水吸着性複合体に最適な水吸着特性を付与するために、親水性バインダを使用しなければならないことを見出した。本発明者らはまた、非親水性バインダ、特に疎水性バインダ（例えば、セルロースシロキサン）が、成形された水吸着性複合体の水吸着特性を低減／低下させることを見出した。したがって、親水性バインダの使用は、充填床水吸着システムの最適な水分捕捉特性にとって重要である。しかしながら、他のバインダも可能であるが、特に好適な親水性バインダは、ヒドロキシプロピルセルロース、ヒドロキシエチルメチルセルロース、ヒドロキシプロピルメチルセルロース（HPMC）、エチルヒドロキシエチルセルロース、メチルセルロース、もしくはカルボキシメチルセルロース（CMC）などの親水性セルロース誘導体；または本明細書で前述したポリビニルアルコール（PVA）のうちの少なくとも1つから選択することができることにも留意されたい。以下の実施例に示すように、1つの例示的な親水性バインダはヒドロキシプロピルセルロース（HPC）である。

40

【0166】

潤滑剤

【212】成形された水吸着性複合体は、潤滑剤含有量、好ましくは0.5重量%未満の潤滑剤、より好ましくは0.1重量%未満の潤滑剤をさらに含むことができる。適切な

50

潤滑剤としては、界面活性剤およびそれらの塩が挙げられる。適切な潤滑剤の例としては、ステアリン酸マグネシウム、酸化アルミニウム、オレイン酸ナトリウム、グリセリド、ジグリセリド、トリグリセリド、脂肪酸、シリコン油および鉱油を含む油、ならびにそれらの混合物が挙げられる。前述のように、潤滑剤含有量は、成形された水吸着性複合体の成形および形成プロセスを補助することができる。

【0167】

磁性粒子

【213】 成形された水吸着性複合体は、磁気誘導スイング吸着システムを使用して水を採取するように構成することができる。これらの実施形態では、成形された水吸着性複合体100（図1）は、少なくとも50重量%の水吸着性金属有機構造体、少なくとも0.1重量%の親水性バインダ、および200nm未満の平均粒径を有する0.2~10重量%の磁性粒子から構成される混合物を含む。混合物は、充填床吸着システムでの使用に最適化される。

10

【0168】

【214】 上述したように、多種多様な磁性粒子を本発明の成形された吸着体に使用することができる。実施形態では、磁性粒子は、強磁性、常磁性、または超常磁性粒子（典型的にはマイクロまたはナノ粒子）を含む。実施形態において、磁性粒子は金属カルコゲナイドを含む。適切な金属カルコゲナイドは、O、S、Se、またはTeの内の少なくとも1つの元素または元素形態との組み合わせで、Li、Na、K、Rb、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Re、Fe、Ru、Os、Co、Rh、Ir、Ni、Pd、Pt、Cu、Ag、Au、Zn、Cd、Hg、B、Al、Ga、In、Tl、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Biの内の少なくとも1つまたはそれらの組み合わせから選択されるMの元素またはそのイオン形態の任意の組み合わせを含む磁性粒子を含む。いくつかの実施形態では、結晶化促進剤は、式 $M_xN_yC_z$ を有する金属カルコゲナイドを含み、式中、M、Nは、Li、Na、K、Rb、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Sc、Y、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Re、Fe、Ru、Os、Co、Rh、Ir、Ni、Pd、Pt、Cu、Ag、Au、Zn、Cd、Hg、B、Al、Ga、In、Tl、Si、Ge、Sn、Pb、As、Sb、Biのうちの少なくとも1つから選択され、Cは、O、S、Se、Teの少なくとも1つから選択され、xは0~10の任意の数であり、yは0~10の任意の数であり、zは0~10の任意の数である。金属カルコゲナイド粒子は、いくつかの実施形態では、コアシェル構造を有してもよく、コアは、前述のような少なくとも1つの金属カルコゲナイドを含み、シェルは、前述のような少なくとも1つの金属カルコゲナイドを含む。いくつかの形態では、コアシェル構造は、複数のシェルを含み得る。実施形態では、磁性粒子は、 $MgFe_2O_4$ 、 Fe_3O_4 、C被覆Co、 $CoFe_2O_4$ 、 $NiFe_2O_4$ 、ピリジン-2，6-ジアミン官能化 SiO_2 、またはピリジン-2，6-ジアミン官能化 Fe_3O_4 のうちの少なくとも1つを含む。

20

30

【0169】

【215】 これらの磁性材料の利点は次の通りである。

- ・局所熱発生—すなわち、熱は、外部加熱源を使用するのとは対照的に、AC磁場を印加することによって（前に論じたように）材料のインサイチュで発生させることができる；
- ・周囲の材料の熱的加熱による熱的およびエネルギーの損失を回避する局所的な発熱による材料の急速な加熱；ならびに
- ・高いエネルギー変換効率。

40

【0170】

【216】 磁性構造体複合材料を形成するための磁性粒子とMOFとの組み合わせは、MOFの結果として並外れた吸着挙動を有し、磁性粒子の結果として誘導加熱の高い効率を有する吸着剤をもたらす。

【0171】

実施例

50

〔217〕以下の実施例は、磁性構造体複合材料中の水吸着剤MOFとしてALFuを使用する。磁性構造体複合材料は、磁性構造体複合材料ペレット内でそのMOFを直接置換することによって、任意の数の他の水吸着剤MOFを使用することができることを理解されたい。

〔0172〕

実施例1－磁気誘導スイング採水

1. 磁性構造体複合材料

〔218〕ALFuの合成およびALFu磁性構造体複合材料(MFC)を含む成形された水吸着性複合体(以下、MFCペレットと呼ぶ)の調製を記載する。実施例は、実験システムが水を繰り返し生成することができ、1.2グラムの水が、記載されたおよそ3サイクルの方法およびシステムから生成されたことを実証する。サイクル時間は持続時間が約30分間であった。以下に概説する実施例では、5gの本発明の成形された複合材料を用いて28分以内に0.4gの水を捕捉した。これは、以下の生産およびエネルギー使用を提供する。

・予想される水生産能力：4.3L/kgのMOFを28分のサイクル時間で1日；および

・予想されるエネルギー使用：12kWh/L。

〔0173〕

〔219〕比較として、(発明セクションの背景で言及された)Yaghi1およびYaghi2に記載されるシステムは、MOFの再生のためのエネルギー源として太陽光を使用する。このデバイスは、Yaghi1において35℃で20%程度の低い相対湿度レベルで、MOF1キログラム当たり2.8リットルの水を毎日捕捉することができると報告された。Yaghi2は、約0.75gの水が同じ条件で16.5時間以内に3gのMOFから生成されたことを示す。これは、1日当たり0.25L/kg MOFの予想される水生産能力に等しい。したがって、本発明の方法は、Yaghiに教示されたシステムよりも著しく高い水生産速度を有する。

〔0174〕

〔220〕発明者らは、Yaghi1が、彼らの装置が、35℃で20%程度の低い相対湿度レベルで、MOF1キログラム当たり2.8リットルの水を毎日捕捉することができたと最初に主張したことに注目する。しかしながら、このより高い生産速度は、同じ設定を使用するYaghi2において公開されたさらなる実験研究が、20%RHおよび35℃で毎日、MOFのキログラム当たり0.25リットルの水で1桁低い生産速度を報告しているように、その論文において大いに過大評価されているようである。発明者らは、Yaghi2で公表された生産速度が、このMOF-801ベースのシステムの実際の水生産速度を反映すると考える。

〔0175〕

1.1 磁性構造体複合材の調製。

〔221〕フマル酸アルミニウムMOFの合成およびフマル酸アルミニウムMFCペレットの調製を記載する。

〔0176〕

1.1.1 フマル酸アルミニウムの合成

〔222〕この研究において、2つの異なる規模のフマル酸アルミニウムのバッチを合成した。複合材料の水分吸着および誘導加熱性能に関する磁性ナノ粒子の異なる含有量の評価のために、バッチIと称される、より小さいバッチを調製した。一方、水捕捉リグ600(図6参照)を用いた実験では、バッチIIと称される、より大きなバッチを合成した。

〔0177〕

〔223〕フマル酸アルミニウム合成反応の実験設定400を図2Aに示す。

〔0178〕

〔224〕AおよびBと名付けた2つの前駆体溶液を以下のように合成した。

【0179】

【225】溶液Aについては、硫酸アルミニウム八水和物を、マグネチックスターラー406を用いて脱イオン水に溶解した。前駆体溶液Bは、水酸化ナトリウムペレットおよび純度99%のフマル酸を、マグネチックスターラー（図示せず）で攪拌しながら脱イオン水に溶解することによって調製した。両方の溶液の組成を表1に示す。

【0180】

【226】

【表1】

表1 フマル酸アルミニウム合成のための前駆体溶液の組成

前駆体溶液A			前駆体溶液B		
	硫酸アルミニウム	脱イオン水	水酸化ナトリウム	フマル酸	脱イオン水
バッチI	35g	150ml	13.35g	12.9g	191ml
バッチII	90g	385.7ml	34.33g	33.17g	491.1ml

【0181】

【227】次いで、溶液Bを丸底フラスコ410に充填し、加熱マントル408を用いて60℃まで加熱した。メカニカルスターラー402を用いて液体を攪拌した。60℃に達したら、前駆体溶液Aを添加した。次いで、混合物を60℃で20分間攪拌し、温度変換器404を使用して測定した。

【0182】

【228】その後、懸濁液を遠心管（図示せず）に充填し、バッチIでは6000rpm、バッチIIでは4500rpmでそれぞれ8～10分間遠心分離した。次いで、沈降したMOF結晶から液体を除去した。その後、フマル酸アルミニウムを以下の手順を用いて洗浄した。最初に、脱イオン水をMOF結晶に添加した。次いで、沈殿物が均一に混合されるまで、懸濁液を手で振盪した。さらに、懸濁液を、バッチIについてはローラーミキサー上で、バッチIIについてはオービタルシェーカー上で、それぞれ15分間混合した。その後、上記と同じ設定を用いて懸濁液を遠心分離した。液体を除去した後、脱イオン水による洗浄手順をさらに3回繰り返した。

【0183】

【229】続いて、フマル酸アルミニウムを、上記と同じ手順に従ってメタノールで1回洗浄した。洗浄手順後のフマル酸アルミニウムを図2Bに示す。

【0184】

【230】洗浄工程後、MOF結晶を窒素雰囲気下でグローブバッグ中で一晩予備乾燥した。その後、MOFを窒素雰囲気下、100℃のオーブンで一晩乾燥させた。その後、温度を130℃に上げ、オーブンを排気してMOFを6～8時間活性化した。

【0185】

1. 1. 2 フマル酸アルミニウム複合材ペレットの調製

【231】MOFペレットの押出しのために、滑らかなペーストを調製する必要がある。したがって、MOFは、より小さいバッチIについては乳鉢およびパステル（図示せず）を、より大きいバッチIIについてはコーヒー粉砕機（図示せず）をそれぞれ使用して粉砕した。粉砕後、MOFを212μmのふるいに通してふるい分けした。バッチIIの場合には、フマル酸アルミニウム粉末を150μmのふるいに通してふるい分けした。次いで、MOF粉末をジャーに秤量した。その後、磁性ナノ粒子（MNP）を添加した。この研究では、マグネシウムフェライトを磁性ナノ粒子として選択した。しかし、他の磁性ナノ粒子も同様に使用できることを理解されたい。次いで、粉末混合物を、粉末の色が均

一に褐色になるまで約10分間手で振った。その後、粉末をボウルに充填し、親水性バインダ（ヒドロキシプロピルセルロース（HPC））を添加した。水取り込みおよび磁気誘導加熱に対する磁性ナノ粒子の量の効果を調べるために、異なる複合材料を調製した。調製した試料の組成を表2に示す。

【0186】

〔232〕

【表2】

表2 異なるフマル酸アルミニウム複合材試料の組成

バッチ	マグネシウムフェライト の濃度 [wt %]	バインダの濃度 [重量%]
バッチ I	0	0
	0	1
	1	1
	3	1
	5	1
バッチ I I	3	1

【0187】

〔233〕さらに、溶媒、この場合は脱イオン水を添加して、混合物をよりペースト状にした。バッチ I の場合、少量のエタノールも添加した。次いで、アイスクリーム様ペーストが形成されるまで、成分を十分に混合した。

【0188】

〔234〕バッチ I から製造された複合材の押出しのために、丸いノズルを有するシリンジを使用した（図示せず）。バッチ I I の場合、三角形形状のノズル 505 を有する手動押出機 500 を選択した。押出機を図 3 A に示す。三角形形状の押出アタッチメント 505 は、先に説明したように、製造されたペレットの充填密度を増加させるために選択された。さらに、ステアリン酸マグネシウムを、バッチ I I からのペレットの調製のための潤滑剤として使用した。ステアリン酸マグネシウム粉末を手動押出機 500 の内壁上に塗布した。ペーストを濾紙上に押し出し、少なくとも 10 分間乾燥させた。その後、押し出された MOF を、かみそりの刃を使用して 3 ～ 5 mm の長さのペレットに切断した。

【0189】

〔235〕次に、ペレットを、真空下（100 mbar 未満の減圧）で 24 時間オープン内で乾燥させた。異なる MOF 複合ペレット（フマル酸アルミニウムおよびフマル酸アルミニウム複合ペレット）を図 4 に示し、（A）初期 MOF、（B）1 重量%のバインダ、（C）1 重量%の MNP、（D）3 重量%の MNP、および（E）5 重量%の MNP を示す。このプロセス全体の概略図を図 3 B に示す。

【0190】

1.2 フマル酸アルミニウム複合材の分析。

〔236〕このセクションの第 1 の部分は、フマル酸アルミニウム複合材の構造を特徴付けるために使用されてきた様々な分析方法を扱う。さらに、水取り込みおよび磁気誘導加熱に関する複合材料の性能を評価する方法が記載される。

【0191】

1.2.1 X線回折。

〔237〕全ての試料は、粉末 X 線回折（PXRD）ならびに小角 X 線散乱（SAXS

）および広角X線散乱（WAXS）を使用して特徴付けた。X線回折分析のために、ペレットを最初に粉碎して、試料ホルダーに充填した。

【0192】

【238】粉末X線回折は、CuK α 放射線下で操作するBruker D8 Advance X線回折計を用いて行った。回折計は、Lynx Eye検出器を備えていた。全ての試料を、0.02°のステップサイズおよび1ステップ当たり1.6秒のカウント時間で、5°～105°の2 θ 範囲にわたって走査した。1ステップ当たり284.8秒の等価時間を与えるために、Lynx Eye上のセンサストリップの178/192を使用した。Bruker XRDサーチマッチプログラムEVA（商標）4.2を使用して、収集したPXRDデータの分析を行った。

10

【0193】

【239】フマル酸アルミニウムはJCPDSデータベースには存在しない。したがって、参考のために、フマル酸アルミニウムの構造のシミュレーションを、言及した回折計の形状のための単純化モデルを使用してTOPASにおいて生成した。

【0194】

【240】小角および広角X線散乱をオーストラリアン・シンクロトロンで行った。試料を試料ホルダープレート上に載せた。マグネシウムフェライト対照試料にかかわらず、全ての試料を1%フラックスおよび1秒の曝露時間で分析した。マグネシウムフェライト試料を100%フラックスで分析した。

【0195】

20

1.2.2 赤外分光法

【241】赤外線スペクトル分析は、Thermo Scientific Nicolet 6700 FT-IR分光計を用いて行った。試料を500～4000 cm⁻¹の波数範囲で分析した。

【0196】

1.2.3 走査型電子顕微鏡イメージング。

【242】走査型電子顕微鏡（SEM）イメージング用の試料は、試料を水中で希釈し、次いで懸濁液をシリコンウェハ上に滴下することによって調製した。次いで、炭素テープを使用して、シリコンウェハをSEM試料スタブ上に貼り付けた。走査の前に、試料をイリジウムで被覆して、顕微鏡検査中の信号対ノイズ比を増加させた。SEM画像は、Carl Zeiss Gemini SEM 450機器を用いて10000倍の倍率で撮影した。

30

1.2.4 表面積および気孔率測定

【0197】

【243】Micrometrics ASAP 2420ハイスループット分析システムを使用して、フマル酸アルミニウム複合材の表面積および気孔率測定値を分析した。

【0198】

【244】最初に、複合ペレットを予め秤量した分析管に充填し、Transealキャップでキャップした。次いで、試料を真空下140℃で24時間脱気した。その後、脱気した試料を含有する管を秤量して、乾燥ペレットの質量を決定した。次いで、チューブを機器の分析ポートに移した。すべての試料のラングミュアおよびブルナウアーエメットーテラー（BET）表面積ならびに細孔径分布を、液体窒素浴中で77 Kで窒素等温線を収集することによって決定した。細孔径分布は、密度汎関数理論（DFT）を用いて決定した。

40

【0199】

【245】バッチIから作製された試料のBET表面積を、分析内の変動を決定するために3回測定した。平均表面領域xは、式1.1を用いて計算した。

【数1】

50

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.1)$$

【0200】

【246】ここで、 n は実験の総数であり、 x_i は実験 i の表面積である。

【0201】

【247】さらに、標準偏差 s_n を算出した。これは、式1.2を用いて行った。

10

【数2】

$$s_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad (1.2)$$

【0202】

20

1.2.5 水取り込み能力の測定

【248】水取り込み能力は、Quantachrome Instruments Autosorb-1分析器を使用して測定した。

【0203】

【249】試料を予め秤量した分析管に充填した。その後、材料を真空下140℃で16時間脱気した。その後、乾燥したペレットの重量を測定した。次いで、管を水蒸気吸着測定用の分析ポートに接続した。分析中に一定温度を確保するために、試料管を室温の水浴に入れた。水蒸気取り込みは、0.1のステップサイズで0.1～0.5の相対圧力 p/p_0 で純水蒸気を使用して測定した。水蒸気吸着実験は、単一の等温線を走らせるのにほぼ1週間かかるので、1回だけ行った。

30

【0204】

1.2.6 磁気誘導加熱の調査

【250】磁性構造体複合材の磁気誘導加熱を評価するために、誘導加熱の加熱速度および効率を調査した。

【0205】

【251】誘導加熱実験のために、Ambreell Easy Heat 1.2kW誘導ユニットを使用した。ワークヘッドに取り付けられた誘導コイル560は銅製である。それは3回巻きで、内径4cm、長さ2.5cmであった。実験中にコイル560を冷却するために水冷却器562を使用した。

【0206】

40

【252】誘導加熱および効率実験のためのセットアップ550を図5に示す。一定量の試料をガラスバイアル565に充填した。誘導加熱中の経時的な試料の温度上昇を監視するために、光ファイバーケーブルセンサ566をベッド567の中心に導入した。センサ566は、OpSens FOTS100温度データロガー570に接続された。ガラスバイアル565を、床の高さの中央がコイルの高さの中央と一致するように、コイル560の中心に入れた。

【0207】

【253】実験中に誘導加熱ユニットによって消費されるエネルギーを監視するために、Cabac Power-Mate（商標）電力計575を使用した。試料を加熱するのに必要な電力を以下のように計算した。

50

【0208】

【254】最初に、ベースラインを得るために、磁場中に試料を入れずにコイルを動作させた。したがって、エネルギーを5分間測定した。次に、式1.3を用いてパワーを計算した。

【数3】

$$\text{消費されるパワー} = \frac{\text{5分にわたり消費されるエネルギー [kWh]}}{\text{時間 (5分) [h]}} \quad (1.3)$$

10

【0209】

【255】試料の加熱中、誘導加熱の最初の5分間のエネルギーも測定した。次に、前述したのと同じ方法でパワーを計算した。

【0210】

【256】外部磁場に曝露された磁性構造体複合材の加熱効果を調べるために、異なる複合材および異なる量の複合ペレットについて、試料の温度を経時的に測定した。全ての実験を20分間以上行った。この時間の後、誘導加熱の加熱曲線は、全ての試料について一定であった。

【0211】

【257】初期加熱速度を用いて誘導加熱効果を定量化した。この速度は、実験開始時の温度プロファイル (dT/dt) $t=0$ の直線勾配を計算することによって決定した。したがって、加熱曲線は、式1.4によって近似される。

【数4】

$$T(t) = T_0 + \Delta T_{\max} [1 - e^{-\frac{t}{\tau}}] \quad (1.4)$$

ここで、 T_0 はペレットの初期温度であり、 $\Delta T_{\max}$ は飽和温度上昇 ($T_{\max} - T_0$) であり、 τ は温度が $\Delta T_{\max}$ の約63%に達する時間に対応する加熱の時定数である。

30

【0212】

【258】磁性構造体複合材の誘導加熱の効率を、式1.5を用いて定量化した。

【数5】

$$\text{効率 \%} = \frac{P_{\text{Coil}}}{P_{\text{SAR}}} \times 100\% \quad (1.5)$$

【0213】

【259】この式において、 P_{Coil} は、誘導加熱中にコイルによって消費される電力であり、式1.6を使用することによって計算される。

【数6】

$$P_{\text{Coil}} = P_{\text{consumed, heating MFC}} - P_{\text{consumed, without MFC in field}} \quad (1.6)$$

40

【0214】

【260】比吸着速度 (SAR) は、通常、外部磁場に曝露された磁性ナノ粒子の加熱

50

効果を推定するために使用される。SARは、10mgの磁性ナノ粒子を100mlの脱イオン水に分散させることによって決定した。次いで、懸濁液を誘導コイルの中心に置き、磁場でトリガーした。懸濁液の温度上昇を、光ファイバーケーブルおよび温度データロガーを用いて測定した。次いで、式1.7を用いて比吸着速度(specific adsorption rate)を計算することができる。

【数7】

$$SAR = C_{\text{water}} \times \frac{m_{\text{water}}}{m_{\text{nanoparticles}}} \times \left(\frac{dT}{dt} \right)_{t=0} \quad (1.7)$$

10

【0215】

【261】この式において、 C_{water} は水の比熱容量であり、 m_{water} は水の質量であり、 $m_{\text{nanoparticles}}$ は懸濁液中の磁性ナノ粒子の質量であり、 $(dT/dt)_{t=0}$ は初期加熱速度である。加熱曲線の初期勾配を前述のように計算した。

【0216】

【262】最後に、複合材PSAR中の磁性ナノ粒子によって生成されるパワーは、式1.8を用いて計算することができる。

$$P_{\text{SAR}} = SAR \times MFC \text{ペレットの磁性ナノ粒子含有量 (g)} \quad (1.8)$$

【0217】

20

【263】初期加熱速度および誘導加熱の効率を決定するための全ての実験を3回行い、標準偏差を決定した。

【0218】

1.3 磁気誘導真空スイング吸着に関する概念実験の証明

【264】このサブセクションは、周囲空気からの水捕捉のための磁気誘導真空スイング吸着プロセスの性能を評価するために使用されてきた様々な方法を扱う。これらの実験は、ベンチスケールで自己構築水捕捉リグを用いて行った。水捕捉リグ700の概略プロセスフロー図を図6に示す。

【0219】

【265】加湿窒素を、水捕捉および破過実験のための試験ガスとして使用した。ガス供給源702からの1バールの窒素流を乾燥ガス流704と湿潤ガス流706とに分割し、バブラー708内で脱イオン水を通してバブリングすることによって湿潤させた。各流の流れを流量計710および711を用いて測定した。乾燥ガス流704と湿潤ガス流706の比を設定することによって、吸着カラムのための供給流の所望の湿度に到達した。

30

【0220】

【266】1インチのポリエーテルエーテルケトン管を含む垂直に配向された吸着カラム720を使用した。有孔テフロン(登録商標)スペーサを管の底部に接着して、管内でその上に吸着床を保持した(図示しないが、吸着カラム720内に封入される)。さらに、スペーサーの穴からペレットが落下するのを防ぐためにグラスウールを用いた。管を、Swagelokから購入したステンレス鋼ウルトラツール真空継手を使用して、供給管および出口管に接続した。

40

【0221】

【267】これらの実験では、4.2kWのシステム電力を有するAmbreel EasyHeat3542 LI誘導コイル725を使用した。5回巻き、内径4cm、長さ5cmの銅コイルを誘導コイル725のワークヘッドに接続した。供給および出口圧力をマノメーター730を用いてモニターした。吸着床の温度を測定するために、光ファイバーケーブル732を充填床の中央に導入し、温度データロガーに接続した。RS 1365 Data logging Humidity-Temperature Meter 735を使用して、吸着カラム720の出口流745の湿度を監視した。

【0222】

50

〔268〕水捕捉のために、流出流645をドライアイスを含むコールドトラップ740に通して水分を凝縮させて水755を生成した。真空ポンプ750を用いて、脱着ガス流745の駆動力を発生させた。

〔0223〕

1.3.1 水収集実験

〔269〕水収集実験のために、3重量%の磁性ナノ粒子を含有するバッチIから作製されたフマル酸アルミニウム磁性構造体複合ペレットを吸着カラムに充填した。充填密度を高めるために、パイプをベンチ上で数回タッピングした。

〔0224〕

〔270〕流量の関数として背圧を決定するために、異なる体積流量を有する乾燥窒素流を充填吸着カラムに流した。

〔0225〕

〔271〕次いで、決定された背圧を使用して、供給流の所望の相対湿度を計算した。所望の湿度については、砂漠のような条件を選択した。これらの領域の相対湿度は、35℃および大気圧で約35%である。実験の設定を簡単にするために、本研究における水取り込み実験を室温で行った。この単純化は、この温度領域におけるフマル酸アルミニウムへの水蒸気取り込みの温度依存性が無視できるので正当化される。しかしながら、比較可能な結果を得るために、湿度の計算は、砂漠のような空気における水分に基づいた。砂漠のような条件は、(Michael Instruments Humidity Calculator-<http://www.michell.com/us/calculator/>で計算された)純窒素雰囲気中の11273ppmVの水分に相当する。

〔0226〕

〔272〕この水分に基づいて、乾燥ガス流と加湿ガス流との比を計算することができる。

〔0227〕

〔273〕水捕捉実験のために、MFCペレットを交流磁場でトリガさせ、乾燥窒素流の流れをカラムに通すことによって活性化した。材料の活性化は、出てくるガス流れの湿度が0になるまで行った。この活性化ステップは、測定精度のための乾燥MOFを得るためにのみ、実験データ収集目的のために使用されたことに留意されたい。システム内のMOF材料中の任意の予め吸着された水分は、システムの動作の第1のサイクルにおいて単に脱着されるので、市販のシステムは、一般に、この活性化／乾燥ステップが行われることを必要としない。

〔0228〕

〔274〕MFCペレットに水蒸気を充填する前に、乾燥流および加湿流の体積流量を設定した。得られた供給流を最初に排気して、ガス流れの加湿を安定化させた。3分後、吸着カラムの前のバルブを切り替えて、供給物がカラムを流れるようにした。

〔0229〕

〔275〕水分吸着の間、カラムの出口流の湿度を測定し、破過曲線を決定するために30秒毎に書き留めた。排気流の湿度が安定した後、供給流を止め、バルブをカラムに向かって閉じた。

〔0230〕

〔276〕再生のために、第1の実験では、再生ステップの持続時間を決定するために、脱着中に湿度のみを測定した。したがって、誘導加熱中、乾燥窒素流を吸着床に通してカラムをフラッシュした。

〔0231〕

〔277〕破過曲線を決定するために、カラムの出口流中で測定された相対湿度を正規化した。したがって、測定された湿度を、吸着床が飽和したときに到達する流出流の湿度で割った。

〔0232〕

2. 結果および考察

〔278〕このセクションでは、フマル酸アルミニウム複合材の特徴付けおよび性能分析の結果、ならびに磁気誘導真空スイング吸着プロセスを使用して周囲空気から水を捕捉するその能力を提示および考察する。

〔0233〕

2. 1. 複合材料の構造的特徴付け

〔279〕フマル酸アルミニウムおよび1重量%のバインダを含むフマル酸アルミニウムのPXRDパターンを図7に示す。さらに、フマル酸アルミニウムのシミュレートされたパターンをプロットする。初期のMOFおよび1重量%のバインダを有するMOFのトレースにおけるピークの大部分は、シミュレートされた段階と合理的に一致することが分かる。

〔0234〕

〔280〕バッチIから作製された異なるフマル酸アルミニウム磁性構造体複合材のPXRDパターンは、図8から得ることができる。さらに、マグネシウムフェライトのトレースを参照としてプロットする。

〔0235〕

〔281〕全ての複合材のトレースは、バインダのみを含有するフマル酸アルミニウムのPXRDパターンと一致する。

〔0236〕

〔282〕1重量%の磁性ナノ粒子を含有する複合材について、PXRDパターンは、試料中のマグネシウムフェライトの有意な証拠を明らかにしない。おそらく、この試料中に存在する任意の磁性ナノ粒子は、検出限界未満である。

〔0237〕

〔283〕3重量%および5重量%のマグネシウムフェライトを有する複合材のPXRDパターンは、2 θ 角35°で見ることができる磁性ナノ粒子のトレースとかなり類似しているように見える。

〔0238〕

〔284〕バッチIIから製造された磁性構造体複合材のPXRDトレースを図9に示す。パターンは、このバッチの初期MOFのトレースと一致する。バッチIから製造された複合材と同様に、2 θ 角35°で見えるマグネシウムフェライトのトレースがある。

〔0239〕

〔285〕フマル酸アルミニウムの表面形態を走査型電子顕微鏡を用いて調べ、図10に示す。この図から、このMOFが非常に粗い表面および不十分な結晶構造を有することが観察できる。

〔0240〕

〔286〕マグネシウムフェライトナノ粒子の狭い粒径分布を図11に示す。この試料の平均粒径は約150nmである。

〔0241〕

〔287〕フマル酸アルミニウムナノ粒子およびマグネシウムフェライトナノ粒子の取り込みを図12から観察することができる。Aでマークされた丸で囲まれた部分は、複合材中のマグネシウムフェライトナノ粒子の位置の例を示す。ナノ粒子がMOF構造内にかなり均等に分布していることが分かる。

〔0242〕

〔288〕磁性ナノ粒子充填量の関数としてのフマル酸アルミニウム磁性構造体複合材の平均BET表面積を図13に示す。マグネシウムフェライトを含まない試料は、MOFおよびバインダのみから作製された複合ペレットを指す。初期のフマル酸アルミニウムペレットの平均表面積は976m²/gである。この試料の測定値の標準偏差は33m²/gである。

〔0243〕

〔289〕プロットおよび初期のMOFの表面積から、バインダの添加および磁性ナノ粒子濃度の増加に対してBET表面積に有意な変化がないことが分かる。より高いナノ粒

10

20

30

40

50

子充填量では、表面積のわずかな減少が見られるが、平均表面積は依然として同程度の大きさである。さらに、異なる実験の標準偏差は、減少傾向を実証しない。

【0244】

【290】第2のバッチおよびこのバッチから調製した複合ペレットのBET表面積を表3に示す。初期のMOFとその複合材との間の表面積にも有意差がないことが分かる。しかしながら、バッチIIからのMOFペレットの表面積は、第1のバッチから調製されたペレットの表面積よりも小さい。

【0245】

【291】

【表3】

10

表3 フマル酸アルミニウムバッチIIおよびフマル酸アルミニウムバッチII複合材のBET表面積

試料	濃度MNP [重量%]	BET表面積 [m ² /g]
初期のMOF	0	876
複合材	3	849

【0246】

20

【292】フマル酸アルミニウムペレットの細孔径分布を図14に示す。主な細孔径分布は、2nm未満の微細孔領域にある。この試料の微孔性は、図15に示す窒素吸着-脱着等温線によっても確認することができる。吸着等温線のIUPAC分類によれば、この等温線の形状は、物理吸着等温線タイプH4に対応する。この形状は、低い相対圧力での高い取り込みが微細孔の充填に関連する微細孔材料に典型的である。

【0247】

【293】図16は、フマル酸アルミニウム複合ペレットの細孔の大部分が2nm未満の微細孔にも存在することを示す。3重量%のマグネシウムフェライトナノ粒子を含有する試料についてのみ、メソ細孔領域に2nm~50nmの細孔が存在する。

【0248】

30

2.2 フマル酸アルミニウム複合材の性能分析

【294】このサブセクションでは、調製された材料の水取り込み結果および磁気誘導加熱性能を提示し、考察する。さらに、誘導加熱実験の結果を従来の加熱方法と比較する。

【0249】

2.2.1 水取り込み性能

【295】MOF中のナノ粒子の増加する量の効果についての予備研究のために調製された試料の水蒸気吸着等温線は、図17から得ることができる。全ての等温線を室温で収集した。プロットは、異なる複合材の水分取り込み容量の間に有意差がないことを示す。これは、セクション2.1の窒素等温線で既に示されている。測定の精度を確認するために、5重量%のマグネシウムフェライトを含有する複合材の等温線を2回収集した。図は、第2の測定値が第1の測定値から約70%変化することを示す。この精度に関して、複合ペレットの水分取り込みは、初期のフマル酸アルミニウムペレットからの蒸気取り込みと大きく異なることを確認することができる。

40

【0250】

【296】より大きなバッチから調製したフマル酸アルミニウムおよびフマル酸アルミニウム複合ペレットの水蒸気等温線を図18に示す。水分吸着実験の実験的分散に関して、複合材の水蒸気取り込みは、初期のMOFのものと有意に異なることを示すことができる。

【0251】

2.2.2 誘導加熱性能と従来の加熱方法との比較

50

【297】初期加熱速度を用いて誘導加熱性能を評価した。初期加熱速度は、セクション1.2.6に記載したように決定した。これらの実験の結果を図19に示す。これらの実験における電界強度は12.6 mTであった。初期加熱速度は、金属有機構造体に組み込まれた磁性ナノ粒子の濃度と共に増加することが分かる。さらに、加熱速度は、交流磁場によってトリガされる試料の量とともにかなり直線的に増加する。

【0252】

【298】初期加熱速度に加えて、調製した複合体の誘導加熱のエネルギー変換効率を図20に示す。電界強度は12.6 mTであった。初期加熱速度と同様に、効率はまた、磁性ナノ粒子充填量の増加および試料重量の増加とともに増加する。試料質量の増加に伴う効率の増加は、従来の加熱方法から分かるように、直感に反する。しかしながら、磁性構造体複合ペレットの量が増加すると、磁場によってトリガされる磁性ナノ粒子の量も増加する。したがって、ナノ粒子間の結合が改善される。

【0253】

【299】はるかに大量のMFCペレットが使用される工業規模での用途では、エネルギー変換効率は、この実験で示されるよりもさらに高いと予想される。これは、加熱された試料の絶縁が存在しないことによって引き起こされる熱の損失のためである。SAR値の計算において損失が考慮されない。この熱損失を最小にするために、断熱実験装置を使用する必要がある。しかしながら、非断熱システムは、大規模で時間のかかる高価な断熱測定を必要とせずに、迅速で信頼性の高いSAR値を提供する。

【0254】

【300】それに加えて、効率は、水冷されない誘導加熱システムを利用することによってさらに改善され得る。水冷式システムは、システムの複雑さおよびコストを増大させるポンプおよび接続部を有する別個の支持システムを必要とする。直接冷却を必要としない誘導加熱システムは、90%までのエネルギー効率を達成することが報告されている。

【0255】

2.3 概念の証明磁気誘導真空スイング吸着

【301】水分の吸着中のカラムの出口流における正規化湿度を図21に示す。この実験では、供給流中の相対湿度を周囲温度22℃で50%に設定した。これは、世界の最も乾燥した地域に存在するものと同じ水分濃度に対応する。加湿窒素流および乾燥窒素流の体積流量を両方とも4 S L P Mに設定した。これらの設定で、吸着床は約1時間後に完全に飽和する。約17分後、出てくる流れの湿度は約8分間安定する。これは、ペレット長の不均一性によって引き起こされるカラム長に沿った断面のより高い充填密度に起因し得る。

【0256】

【302】サイクル時間を短縮するために、さらなる実験のために、吸着が停止される破過点を、最大出口湿度の90%に達する時間に設定した。これは約27分後である。

【0257】

【303】水蒸気の吸着中に測定された温度を図22に示す。温度は、放出された吸着熱によって最初に上昇する。

【0258】

【304】再生中の正規化湿度を図23に示す。吸着床の高さに起因して、誘導コイルは、材料全体を加熱するために2つの異なる位置に配置される必要があった。まず、カラムの上部にコイルを設置した。約2分後、湿度は、磁気誘導加熱の急速な加熱速度のために劇的に増加する。ほぼ20分後、MOF中に捕捉される水の量も減少するので、出てくる流れの湿度は減少する。出口流における湿度が安定する直前に、コイルを下部に移動させた。したがって、カラムの下部の材料にまだ吸着されている水が放出される。湿度が0に達したときに誘導コイルの電力を遮断した。

【0259】

【305】水蒸気の再生中の経時的な温度は、図24から得ることができる。この図および再生中の正規化湿度のプロットから、温度が約50℃に達するとすぐに水放出が始ま

ることが分かる。温度は、コイルがカラムの下部に移動するにつれて低下する。これは、温度センサが吸着床の中央の上に位置するからである。

【0260】

【306】水分の吸着等温線および水の吸着および再生に関するカラムの挙動に関する予備研究に基づいて、リグの理論収量を計算することができる。

【0261】

【307】磁気誘導真空スイング吸着プロセスのエネルギー消費および効率を評価するために、MOF複合材の再生中にエネルギーを測定した。これらの測定のために、1.2 kW誘導加熱システムを選択した。エネルギー効率実験のパラメータは、表4から得ることができる。エネルギー消費は、エネルギーデータロガーを使用して監視した。

【0262】

【308】

【表4】

表4：パラメータエネルギー消費測定

パラメータ	値	ユニット
マスMFCペレット	5	g
流量 乾燥N ₂ 流	4	SLPM
流量 湿潤N ₂ 流	4	SLPM
周囲温度	22	°C
電流誘導加熱システム	225.6	A
周波数誘導加熱システム	268	kHz

【0263】

【309】実際の実験の前に、表4に記載した設定についての破過曲線を決定した。したがって、活性化されたMOF複合ペレットに水蒸気を20分間充填した。この後、吸着床に水分を完全に充填した。破過曲線を図21に示す。

【0264】

【310】しかしながら、プロセスの全体的な効率を高めるために、実験のために吸着が停止される破過点は、最大出口湿度の90%に達したときであるように選択された。

【0265】

【311】水蒸気の吸着後、再生を開始し、誘導加熱システムのエネルギー消費を監視した。吸着床の再生を20分間行った。この実験を3回繰り返した。結果を表5に示す。この表において、サイクル時間は吸着と再生の合計時間である。捕捉効率は、カラムに供給される水分量と吸収度によって捕捉される水分量との比として計算される。1リットル当たりの計算された価格は、この方法論を使用して空気から捕捉された水について妥当な価格があることを示す。

【0266】

【312】

10

20

30

40

50

【表 5】

表 5：結果 水捕捉実験

サイクルN o.	サイク ル時間 [分]	収率 [L k g ⁻¹ d a y ⁻¹]	捕捉効率 [%]	エネルギー消 費 [k W h / L]	エネルギー変換 効率 [%]	1 リットル当た りの価格* [\$ /L]
1	28	4.1	57.3	12.8	98.3	3.5
2	28	4.6	64.4	10.4	106.7	2.9
3	28	4.1	57.3	13.0	96.4	3.6

*資本コストを除く。

【0267】

3. 水分析

【313】 比較Milli-Q水試料と、1:15の本発明の水対Milli-Qの希釈比で、サイクル1からの本発明の方法を使用して捕捉された水（表5）と混合されたMilli-Q水試料に対して、IPC分析を行った。サイクル1から収集された水を分析して、飲料水としてのその適合性について水を試験した。試料を超純水で1:15の希釈率で希釈した。誘導結合プラズマ質量誘導結合プラズマ質量分析を用いてカチオン（Ca⁺、K⁺、Mg⁺、Na⁺、S⁺）および金属（Al、As、B、Cd、Co、Cr、Cu、Fe、Mn、Mo、Ni、P、Pb、Sb、Se、Si、Sr、Zn）について分析した。さらに、アニオン（F⁻、Cl⁻、Br、NO₃⁻、SO₄⁻）について水を分析するためにイオンクロマトグラフィーを行った。

【0268】

【314】 両方の試料のIPC分析は、以下のように試験標準に従った。

・フッ化物、臭化物、硫酸塩 [APHA法4110]。これらの一般的なアニオンは、2mmのAS19アニオン分離カラムおよびオンラインで生成された水酸化カリウム溶解液を有するDionex ICS-2500システムを使用するイオンクロマトグラフィー、続いて化学的抑制後の導電率検出によって決定される。0.25mL/分の流量で、アニオンF⁻、Cl⁻、Br⁻、NO₃⁻およびSO₄²⁻は、3.5~25分の間に溶出される。各イオン濃度は、25μL注入を使用してピーク面積から計算され、ある範囲の濃度を有する混合標準のセットから生成された校正グラフと比較される。

・カチオンおよび金属 [APHA法3120]。元素の範囲は、誘導結合プラズマ発光分光法(ICP-OES)によって決定される。試料をAgilent 5100 ICP-OESのプラズマ中に噴霧する。目的の元素の発光スペクトルを同時に測定する。これは、微量元素（Al、B、Cu、Fe、Mn、SrおよびZn）および非金属元素P、SおよびSiと共に主要なカチオン（Ca、K、MgおよびNa）を決定する。

【0269】

【315】 IPC分析の結果を表6Aおよび6Bに示す。

【0270】

【316】

10

20

30

40

50

【表 6】

表 6 A－水試料の I P C 分析の結果－パート 1

		イオンクロマトグラフィー					I C P メジャー				
		F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Ca	K	Mg	Na	S
試料 #		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1	M i l l i ーQ 水	<0.05	<0.05	<0.05	1.6	<0.05	<0.1	<0.2	<0.1	<0.2	<0.2
2	試料 + M i l l i ーQ 水	<0.05	<0.05	<0.05	4.1	<0.05	<0.1	<0.2	<0.1	<0.2	<0.2

10

【 0 2 7 1 】

【 3 1 7 】

【表 7】

表 6 B－水試料の I P C 分析の結果－パート 2

I C P ミラー																			
#	Al	As	B	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	M n	M o	Ni	P	Pb	Sb	Se	Si	Sr	Zn	
	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L	m g/ L
1	<0 .05	<0 .05	<0 .05	<0 .05	<0 .05	<0 .05	<0 .05	<0 .1	<0 .05	<0 .05	<0 .05	<0 .2	<0 .05	<0 .1	<0 .05	<0 .2	<0 .05	<0 .05	<0 .05
2	<0 .05	<0 .05	<0 .05	<0 .05	<0 .05	<0 .05	<0 .05	<0 .1	<0 .05	<0 .05	<0 .05	<0 .2	<0 .05	<0 .1	<0 .05	<0 .2	<0 .05	<0 .05	<0 .05

20

30

【 0 2 7 2 】

【 3 1 8 】 結果は、本発明の方法および装置を使用して生成された試料水が、M i l l i ーQ 水、すなわち I S O 3 6 9 6 などの多数の機関によって定義される超純水と同様の含有量を有することを示す。したがって、硝酸塩濃度 (N O₃⁻) は別として、各試料 (参照および本発明のサイクル 1) 中のすべての化合物の濃度は、検出限界未満である。

【 0 2 7 3 】

【 3 1 9 】 唯一の有意差は、硝酸塩濃度 (N O₃⁻)、濃度である。サイクル 1 から収集された水試料中の硝酸塩の濃度は、約 6 0 . 8 m g / L である。「飲料水品質ガイドライン」では、世界保健機関 (W H O) は、飲料水の硝酸塩濃度を 5 0 m g / L に制限している。対照／参照超純水試料中の硝酸塩の濃度も上昇し、1 . 6 m g / L である。しかしながら、超純水タイプ I 中の N O₃⁻ の濃度は、I S O 3 6 9 6 に従って 0 . 2 m g / L 未満であるべきである。両方の水試料の異常な硝酸塩濃度は、試料調製中または試料分析中のいずれかの汚染の結果であり得ると考えられる。

40

実施例 2－バイнда

【 0 2 7 4 】

4 . 比較例－バイнда

50

【320】以下に、疎水性バインダを用いて形成された水吸着体／ペレットの水吸着特性の比較例を示す。本発明者らは、驚くべきことに、成形された水吸着性複合体に最適な水吸着特性を付与するために、親水性バインダを使用しなければならないことを見出した。疎水性バインダなどの非親水性バインダは、疎水性バインダを使用して形成されたペレットと比較して、成形された水吸着性複合体の水吸着特性におもわぬ影響を及ぼす。

【0275】

【321】フマル酸アルミニウムペレット調製物において異なるバインダを使用して、フマル酸アルミニウムペレットの吸着特性に対する効果について研究を行った。

【0276】

【322】セクション1.1.2に記載の方法に従ってペレットを調製した。しかしながら、バインダ組成物はペレットの2つのバッチ間で変化させた。ペレットの第1のバッチを、A l F u（フマル酸アルミニウム（I）と称される）の第1のバッチ（上記のバッチI）および疎水性バインダであるセルロースシロキサンバインダを使用して作製した。ペレットの第2のバッチを、A l F u（フマル酸アルミニウム（II）と称される）の第2のバッチ（上記のバッチII）および親水性バインダであるヒドロキシプロピルセルロースバインダを使用して作製した。ペレットの各バッチの水取り込み能力を、本明細書に概説した方法に従って決定した。

【0277】

【323】水取り込み能力決定の結果を図25に示す。各バッチと、フマル酸アルミニウムを含むバッチ、すなわちフマル酸アルミニウム（I）およびフマル酸アルミニウム（II）の水取り込み能力等温線との比較も示す。これらのバッチ間の吸着等温線は、形成されたフマル酸アルミニウムMOFの特性の違いにより異なっていたことに留意されたい。

【0278】

【324】図25から、フマル酸アルミニウムは、相対湿度に応じて、MOF 1グラム当たり0.09～0.5 gの水の水容量を有することも分かる。水に対するフマル酸アルミニウムの典型的な吸着熱は周知であり、周囲湿度に応じて60～30 kJ/molの範囲である。

【0279】

【325】図25に示す水蒸気取り込み等温線は、セルロースシロキサンを使用するとMOFの性能が低下することを明確に示している。しかしながら、ヒドロキシプロピルセルロースをバインダとして使用する場合、目に見える水分取り込みの減少はない。

【0280】

実施例3－温度スイング採水

5. 実験

5.1 試験リグ

【326】図26は、（図1C～図1Eに示されるような）温度スイング採水デバイス350のための試験リグ600を、採水デバイス350、電源、および測定機器とともに示す。図示の試験リグ600は、以下の測定デバイスを備えた前述の装置300（図1Cおよび図1D）を備える。

- ・各採水サイクル（WHC）の吸着および脱着段階中に容器630内の相対湿度および空気温度を測定するの相対湿度データロガー682「EL-USB-2-LCD+」（ラスカルエレクトロニクス社、ウィルトシャー（英国））。

- ・各脱着段階中のペルチェ素子610のエネルギー消費を測定するための電力計683「デジタルDC電力計」（KickAss（登録商標）、オーストラリア）。

- ・各脱着段階中のすべての熱電対375の温度データを記録するための温度データロガー684「TC-08」（ピコテクノロジー社（英国））。

【0281】

【327】調整DC電源685（0～16 V，0～10 A）を用いてペルチェ素子610に電力を供給し、デジタル制御電源（0～30 V，0～3 A）686を用いてファン670に電力を供給した。さらに、ラップトップ687を使用して、相対湿度データロガー

682および温度データロガー684からデータを収集した。精密ベンチスケール689「EK-15KL」(A&D Co. Ltd., Tokyo (日本))も使用して、各吸着または脱着サイクルの前後に採水デバイス350の重量を測定した。差を計算して、吸着段階の間に吸着された、または脱着段階の間に脱着された水の量を決定した。

【0282】

5.2 採水実験

【328】各採水サイクルを、同じ設定で、以下のプロトコルを使用して行った。

【0283】

【329】i番目の採水サイクルの吸着段階は、組み立てられた採水デバイス350および脱着されたMOF充填床355を使用して開始する。全ての熱電対375をデータロガー684から切断し、電源685、686をペルチェ素子310およびファン370から切断した。容器330の蓋334を取り外し、相対湿度データロガー682を容器330から取り外した。採水デバイス350全体を秤689上に置き、脱着されたMOF充填床355の重量 $m_{des, i-1}$ を決定した。RHデータロガー682をセットアップし(サンプリング速度:5分)、ラップトップ687上で始動させた後、ファン370をその電源686に接続し、ヒートシンク320および充填床355を通る空気流れを開始させ、したがって吸着段階を開始させるようにスイッチを入れた。設定された吸着時間の後、ファン370のスイッチを切り、電源686から切断した。採水装置350を再び秤689上に置き、水吸着MOF充填床355を用いて重量 $m_{ads, i}$ を決定した。水の吸着量 $m_{water, ads}$ は、以下を用いて計算することができる。

$$m_{water, ads} = m_{des, i-1} - m_{ads, i} \quad (4.1)$$

ここで、iは現在の採水サイクルの数であり、i-1は前の採水サイクルの数である。さらに、RHデータロガー682をラップトップ687と同期させ、吸着中に収集されたデータを保存した。脱着段階のためにRHデータロガー687を準備した(サンプリング速度:15秒)。

【0284】

【330】熱電対375をそれらのデータロガー684に接続し、ペルチェ素子310およびファン370を電源685、686に接続して、脱着段階を開始した。RHデータロガー682を始動させ、容器330に入れた。容器330の蓋334を容器本体332の上に置き、電気テープで所定の位置にシールした。ラップトップ687上の温度データロガー684を始動させた後、ペルチェ素子310の電源685をオンにした。ファン370は、実験に応じて、ペルチェ素子310とともに、またはMOF充填床355が設定温度まで加熱された後のいずれかに開始された。

【0285】

【331】ペルチェ素子310およびファン370は、設定された脱着時間後にスイッチを切った。容器330の蓋334を容器本体332から取り外し、両方のデータロガー682、684からのデータをラップトップ687に保存した。ペルチェ素子310のエネルギー消費を電力計683から読み取った。ファンのエネルギー消費 W_{Fan} は以下の式を用いて計算した。

$$W_{Fan} = I_{Fan} \times U_{Fan} \times t_{run} \quad (4.2)$$

【0286】

【332】ここで、 I_{Fan} はファンの動作電流であり、 U_{Fan} はファン370の動作電圧であり、 t_{run} はファン370の実行時間である。容器330の底部からシリンジ(図示せず)で凝縮水を収集した。水体積を測定し、電源685、686を取り外し、熱電対375を取り外した後、採水デバイス350を秤689上に置いた。脱着後の採水デバイス350の重量 $m_{des, i}$ を使用して、脱着された水の量 $m_{water, des}$ を計算した。

$$m_{water, des} = m_{ads, i} - m_{des, i} \quad (4.3)$$

【0287】

【333】ここで、採水サイクルが完了し、採水デバイス350は、次の吸着段階を開

始する準備ができた。

【0288】

5.3 ペルチェ加熱式採水デバイスの性能

【334】採水デバイスの性能を評価するために、フマル酸アルミニウムペレットを特徴付けた。採水サイクル後にペレットを再び特徴付けて、採水目的のためのフマル酸アルミニウムペレットの有用性を示した。その後、デバイスを用いて24回の採水サイクルを実行して、最適な動作条件を決定した。

【0289】

5.3.1 MOFペレットの特徴付け

【335】99重量%のフマル酸アルミニウムおよび1重量%のバインダを含有するMOFペレットを、FTIR、PXRD、窒素吸着等温線、水吸着等温線、および計算されたBET表面積を使用して特徴付けた。

【0290】

【336】赤外線分光法を使用して、ペレット化プロセス中のバインダおよび溶媒との混合によるフマル酸アルミニウムの変化を調べた。図27は、1重量%ヒドロキシプロピルセルロース（HPC）バインダを含むフマル酸アルミニウムのFTIRパターンを示す。3つの押出バッチを作製して、200gのペレットを製造した。3つのバッチ全てについてのフマル酸アルミニウムを、実施例セクション1.1.1で議論したように調製した。ペレットは、実施例セクション1.1.2に概説した同様の手順に従って調製したが、この場合、ペレットの組成は、磁性ナノ粒子含有物を有さない1重量%ヒドロキシプロピルセルロース（HPC）バインダを有するフマル酸アルミニウムを使用して配合した。

【0291】

【337】「ペレット__01」と称されるペレットの第1のバッチを、溶媒としての水およびエタノールと混合して、押出成形のためのペーストの必要な稠度を得た。しかしながら、この溶媒配合は、（セクション1.1.2に記載されるような）ペレット化プロセスにおける所望の切断挙動のためには乾燥が遅すぎるペーストストランドをもたらす。その後のペレットバッチ、ペレット__02およびペレット__03は、溶媒として純粋なエタノールを用いて作製した。これは、ペレット化中のペーストのより迅速な乾燥をもたらす。さらに、図27が示すように、異なる溶媒の使用は、異なるFTIRパターンをもたらす。水およびエタノールを用いて作製したペレットは、溶媒として純粋なエタノールを用いて作製した他のバッチと比較して、波数3400 cm⁻¹および1150 cm⁻¹でより強いピークを示し、980 cm⁻¹でより弱いピークを示した。

【0292】

【338】図27はまた、ペレット__01、ペレット__02およびペレット__03のFTIRパターンを初期のフマル酸アルミニウムと比較する。ペレット__01のパターンは、初期のフマル酸アルミニウムのパターンと良好に一致し、両方とも波数3400 cm⁻¹付近に強く広いピークを示した。初期のMOFは、赤外分光法の前に活性化されなかった。溶媒としてエタノールのみを用いて作製したペレットは、初期のMOFと比較してわずかに異なるFTIRパターンを示す。ペレットを100℃で一晩乾燥させた。初期のMOF並びに溶媒として水およびエタノールを有するペレットは、3400 cm⁻¹および1150 cm⁻¹に強いピーク、および980 cm⁻¹付近に弱いピークを示す。この差は、MOFに吸着された水に起因し得る。

【0293】

【339】生成されたフマル酸アルミニウムペレットの結晶化度を評価するために、粉末X線回折分析を試料に対して行った。パターンを、初期のフマル酸アルミニウムおよびシミュレートされたPXRDパターンと比較した。図28は、PXRDパターンを示す。3つのペレットバッチ全てのパターンにおける強いピークは、材料の結晶化度を示す。3つのPXRDパターンは非常に類似しており、FTIRパターンの差がペレットバッチのうちの1つにおける吸着された水によるものであることが確認された。ペレットのPXRDパターンも、初期のMOFとよく一致する。同様に、シミュレートされたパターンは、

他のパターンと十分に一致する。

【0294】

【340】全ての押出バッチからの試料を窒素取り込み測定で分析して、それらの吸着特性に関してフマル酸アルミニウムペレットを特徴付けた。BET表面積を定量値として決定し、吸着能力を比較した。表5. 4は、3つのペレット押出バッチ全てのBETおよびラングミュア表面積、ならびに初期のフマル酸アルミニウムの表面積を示す。

【0295】

【341】

【表8】

表5. 4：初期のフマル酸アルミニウムおよびフマル酸アルミニウムペレットの窒素吸着等温線から計算したBETおよびラングミュア表面積。

試料	BET表面積 ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)	ラングミュア表面積 ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)
初期のフマル酸アルミニウム	884	1064
ペレット__01	805	1042
ペレット__02	817	1061
ペレット__03	824	1071

【0296】

【342】ペレットの表面積は、ペレット__01、ペレット__02およびペレット__03についてそれぞれ9%、8%および7%低かった。これは、添加されたバインダおよびペレット化プロセス中の溶媒による処理の結果である可能性が高い。さらに、MOFは、初期のフマル酸アルミニウムのような粉末ではなく、硬い形状で充填された。エタノールと水の混合物と共に押出されたペレットは、わずかに低い表面積を示す。ペレット押出は、ペレットの品質を高めるために溶媒として純粋なエタノールを使用すべきであると決定された。

【0297】

【343】バッチペレット__02について水等温線を測定して、このバッチの水取り込み能力を決定した。図29は、Teoら(2017)によって文献、フマル酸アルミニウムへの水の吸着に関する等温線および動力学の実験的研究、International Journal of Heat and Mass Transfer Volume 114, November 2017, Pages 621–627において報告された初期のフマル酸アルミニウムに関する水取り込み等温線と比較したフマル酸アルミニウムペレットの水取り込み等温線を示す。

【0298】

【344】最初に、実験等温線を見る（この等温線は、等温脱着中の非常に長い平衡化段階のために脱着が測定されなかったもので、吸着段階のみを示すことに留意されたい）：フマル酸アルミニウムペレットはタイプIV等温線に従う。水取り込みの最初の増加は、0.01～0.03の相対圧力範囲で示され、その後、より低い勾配を有するプラトーが続く。0.2と0.4の間の相対圧力で第2の急な増加が観察され、再びプラトー領域が続いた。0.4の相対圧力で水取り込みは約0.3 $\text{g}_{\text{water}} = \text{g}_{\text{MOF}}$ であり、0.34 $\text{g}_{\text{water}} = \text{g}_{\text{MOF}}$ の最大水取り込みが0.6の相対圧力で観察された。

【0299】

【345】ここで、図29のTeo等温線との比較を見ると、フマル酸アルミニウムのTeoの報告された水取り込み等温線は、同様にタイプIVのものであり、同じ相対圧力範囲で水取り込みの急激な増加を有することが分かる。低い相対圧力範囲における水取り

込みは、この研究のペレットと比較して、T e o のデータにおいて低かった。高い相対圧力範囲では、T e o によって報告された水取り込みは、この研究のペレットと比較して高かった。これは、剛性ペレット形態ならびにフマル酸アルミニウムペレット中の 1 重量%のバインダに起因し得る。したがって、ペレットの等温線は、99 重量%のフマル酸アルミニウムを含有する、M O F ペレット 1 g 当たりの g での水取り込みを示す。

【0300】

【346】結論として、製造されたフマル酸アルミニウムペレットは、X線回折分析の、シミュレートされたデータに匹敵する高い結晶性および構造を有していた。ペレット化プロセス中の溶媒としてのエタノールの使用は、最良の表面積結果を提供した。さらに、製造されたペレットは、水取り込み挙動に関して依然として良好な品質であり、最大水取り込みは 0.34 g / g であった。

【0301】

5.3.2 採水実験

【347】採水デバイスを用いた採水サイクルを試験リグで行った。吸着および脱着段階を含む各サイクルについて、以下のデータを記録した。

- ・吸着および脱着中の相対湿度；
- ・脱着中の M O F 床内の温度；
- ・ペルチェ素子およびファンのエネルギー消費と；
- ・脱着された水の量。

【0302】

【348】デバイスを用いて 24 回の採水サイクルを行った。実験の目的は、適切なペルチェ素子を選択し、M O F 床の脱着のための最適な温度範囲を決定することであった。最良のペルチェ素子が決定されると、動作パラメータは、1 日当たりのエネルギー消費および水収率に関して最適化された。全ての実験は、2019 年 3 月にオーストラリアのメルボルン（クレイトン）で周囲空気を用いて行った。表 5.1 は、全ての採水サイクルを示す。

【0303】

【349】

10

20

30

40

50

【表 9】

表 5. 1 : 動作パラメータを有するすべての採水サイクルのリスト (ファンパラメータ: HF—高流量 [I=0.09A]、LF—低流量 [I=0.02A]、加熱および凝縮中に「*」ファンをオンにし、他のすべての実験では、凝縮中にファンをちょうどオンにした。)

No.	ペルチェ素子	加熱電流 (A)	凝縮電流 (A)	凝縮時間 (h)	ファン
1	29 W	3.0	3.0	3.0 (加熱含む)	-
2	29 W	3.5	3.5	3.0 (加熱含む)	-
3	29 W	4.0	4.0	3.0 (加熱含む)	-
4	29 W	4.0	4.0	3.0 (加熱含む)	HF*
5	29 W	4.0	4.0	2.0 (加熱含む)	-
6	29 W	4.0	4.0	1.5 (加熱含む)	-
7	29 W	4.0	4.0	1.0 (加熱含む)	-
8	110 W	5.0	4.5	2.0	-
9	110 W	5.5	4.5	2.0	-
10	110 W	6.0	4.5	2.0	-
11	110 W	6.5	4.5	2.0	-
12	110 W	6.5	6.0	2.0	LF*
13	110 W	6.5	6.5	2.0	HF
14	110 W	6.5	6.5 ... 5.5	1.5	LF
15	110 W	6.5	6.5 ... 6.0	1.0	LF
16	110 W	6.5	6.5 ... 6.0	0.5	LF
17	110 W	6.5	6.5	0.083	LF
18	110 W	6.5	6.5 ... 5.5	0.5	LF
19	110 W	6.5	6.5 ... 5.5	0.5	LF
20	110 W	6.5	6.5 ... 4.0	0.5	LF
21	110 W	6.5	6.5 ... 5.5	0.5	LF
22	110 W	6.5	6.5 ... 5.5	0.5	LF
23	110 W	6.5	6.0	0.5	LF
24	110 W	6.5	6.5	0.5	LF

【0304】

【350】最初に試験したペルチェ素子 (Adaptive [53] AP2-162-1420-1118 最大電流 7.8 A) は、95℃の最大温度差および 29.3 W の最大熱流を有した。第 2 の試験されたペルチェ素子 (Multicomp [54] MCTE1-12712L-S 最大電流 12.0 A) は、68℃の最大温度差および 110 W の最大熱流を有した。採水サイクル 1~3 および 8~11 におけるペルチェ素子の試験電流は、採水サイクルの前に行われる加熱実験によって選択された。

【0305】

【351】加熱実験は、ペルチェ素子の電流範囲におけるヒートシンク内の最大温度を決定するために、ペルチェ素子および無負荷ヒートシンクを用いて行った。このデータに基づいて、負荷されたヒートシンクを用いて最初に試験された電流を選択した。以前の採水サイクルに基づく電流でさらなる実験を行った。全ての実験は、現在の動作パラメータの空時収量 (STY) および採取された水 1 kg 当たりのデバイスのエネルギー消費に関して評価した。表 5. 2 は実験の結果を示す。

【0306】

【352】

【表 10】

表 5. 2 : 全ての採水サイクルの評価。「*」でマークしたサイクル時間は、吸着__1 4 から計算した理論吸着時間で計算した。

No.	脱着された 水 (g)	収集された 水 (mL)	サイクル時間 (h h : mm)	STY (L kg ⁻¹ d ⁻¹)	比エネルギー (kWh kg ⁻¹)
1	9.3	4.1	20:05	0.025	21.95
2	32.4	17.5	20:20	0.106	7.43
3	44.8	28.1	25:30	0.170	5.34
4	11.5	7.9	*5:00	0.192	18.34
5	34.9	21.9	*4:00	0.664	4.67
6	22.5	12.3	3:30	0.426	5.87
7	13.1	4.9	*3:00	0.198	8.60
8	35.2	29.1	*5:00	0.705	4.20
9	33.4	27.6	4:42	0.712	4.43
10	32.0	24.5	*4:30	0.660	4.58
11	26.9	23.1	4:21	0.664	4.42
12	57.9	51.7	*7:31	0.833	3.06
13	49.2	36.7	*5:24	0.824	5.61
14	52.7	42.8	*5:32	0.938	3.37
15	44.8	37.2	*4:31	0.998	3.05
16	32.3	26.3	*3:08	1.018	2.75
17	19.1	11.2	*1:37	0.838	3.67
18	17.9	10.7	*1:51	0.701	3.85
19	8.8	2.9	*1:21	0.260	7.12
20	3.0	0.6	*1:21	0.054	17.77
21	10.2	2.8	2:50	0.120	18.67
22	11.3	6.6	2:55	0.274	7.92
23	27.4	21.6	*3:09	0.833	3.35
24	30.7	25.2	3:04	0.998	3.27

【0307】

【353】報告されているように、フマル酸アルミニウムの脱着温度は110℃であり、最大の温度差を有するペルチェ素子を最初に試験した。デバイスを、WHC1～3における3つの異なる電流で試験した。脱着中のMOF床の温度は、WHC1、2および3において、それぞれ65℃、70℃および80℃までであった。

【0308】

【354】MOF床の温度が上昇すると、脱着された水の量も増加する。最初の3サイクルにおける空時収量を、脱着段階前の実際の吸着時間を用いて計算した。吸着を一晩行った。したがって、サイクル時間は約24時間であった。吸着が完了した後、これらの実験における脱着段階のためにペルチェ素子を3時間スイッチオンした。その後、水を収集した。0.170 L kg⁻¹ d⁻¹の最高STYおよび5.34 kWh kg⁻¹の最低比エネルギー消費がWHC3で測定された。

【0309】

【355】WHC4は、WHC3と同じ電流で運転した。脱着段階中のファンの影響をこのサイクルで試験した。ペルチェ素子と同時にファンのスイッチを入れた。容器630内に高い空気対流が生じた。したがって、MOF床は、第3のサイクルと比較して、脱着段階の間によりゆっくりと加熱される。その結果、3時間後のMOF床の最高温度はちょうど50℃であり、得られた採取水量は7.9 mLであり、WHC3の28.1 mLよりも有意に低かった。29.3 Wペルチェ素子の最大放散熱は、高い対流でMOF床を加熱するのに十分ではなかった。したがって、このデバイスを用いたその後の実験は、脱着中に容器630内のファンなしで実施した。

【0310】

〔356〕WHC 4から始めて、空時収量を理論吸着時間で計算した。全ての実験について同等のサイクル時間を計算するために、吸着挙動を1つの吸着段階について記録した。WHC 14の吸着中にデバイスの重量を記録した。吸着は、前のWHCからの冷却を考慮するために、60℃のMOF床温度で開始する。したがって、図30に示すように、経時的な水吸着曲線を作成した。そして、脱着した水の量から吸着時間を算出することができた。

〔0311〕

〔357〕WHC 5～7では、脱着段階の実行時間を短縮した。結果として、より少ない水が吸着される必要があり、1日あたりにより多くのサイクルが実行されることを可能にし、STYを増加させる。しかしながら、結果は、より短い脱着段階でSTYの低下を明らかにする。これは、大部分の時間がMOF床を高温に加熱するために使用され、より短い脱着段階では最大到達温度が低下するという事実の結果であり得る。例えば、ちょうど1時間の脱着時間を有するWHC 7における最大温度は、65℃であった。したがって、 $0.664 \text{ L kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ の最高空時収量は、2時間の脱着時間および2時間の対応する吸着時間で達成された。さらに、採取された水の量が有意に少ないほど、ペルチェ素子の実行時間が短くても、採取された水1リットル当たりの比エネルギー消費は大きかった。

〔0312〕

〔358〕その結果、ペルチェ素子は後続の実験のために110Wのペルチェ素子に変更され、これは、MOF床を約70℃の温度に加熱するのに十分であることが分かった。WHC 3における70℃では、吸着された水の82%が3時間後に脱着される。再び、第1の実験を、5.0A～6.5Aの間のペルチェ素子の異なる電流で行った。MOF床をこの電流で加熱した。MOF床が68℃の温度に達するとすぐに、電流を下げて温度を維持した。MOF床が68℃の温度に達した後の時間に相関する「凝縮時間」と呼ばれる新しい時間パラメータを使用した。凝縮時間中に温度を維持するための電流は、加熱実験からのデータに基づいて、WHC 8～11において4.5Aに設定した。

〔0313〕

〔359〕予想されるように、6.5Aの最高電流は、MOFの最短加熱時間をもたらし、したがって、採取された水の最高空時収量をもたらす。同時に、比エネルギー消費は、この電流で最も低かった。その後の実験は、6.5Aの加熱電流で行った。

〔0314〕

〔360〕次の2つの実験では、ヒートシンクのフィンの間に取り付けられたファンの影響を、110Wのペルチェ素子を用いて調べた。ファン(WHC 4)を用いた第1の実験ではMOF床内の温度変化が非常に高かったので、ファンの2つの異なる流量を試験した：0.09Aのファン電流で大流量、0.02Aのファン電流で小流量とした。また、凝縮電流への変化するための温度を75℃とし、脱着された水の量を高めた。低流量のWHC 12における採取された水量は、51.7mLであり、これまでのところ最も多い量であった。結果として、この実験は、これまでのところ、それぞれ $0.833 \text{ L kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ および 3.06 kWh kg^{-1} の最高の空時収量および最低のエネルギー消費を有する。MOF床が加熱された後にファンのスイッチが入れられたとしても、高流量を有するWHC 13中の採取された水の量は、ちょうど36.7mLであった。前の実験では、ファンは、加熱段階中を含めて、全時間作動していた。その結果、低流量のファンを用いて以降の実験を行った。さらに、ファンは、MOF床が最終脱着温度に到達したときにオンにされ、初期加熱速度は、加熱段階中にファンがオンにされたときの $2.13^\circ\text{C min}^{-1}$ と比較して $2.73^\circ\text{C min}^{-1}$ であった。より高い初期加熱速度は、より短い脱着時間、したがってより短いサイクル時間をもたらす。

〔0315〕

〔361〕これらの13個の実験に基づいて、110Wのペルチェ素子を、採水サイクル14～24のための以下のパラメータを使用して、採水デバイスのさらなる最適化のために使用した。

- ・ペルチェ素子MCTE1-12712L-2、110W。

- ・加熱電流 6.5 A。
- ・ファン流量低 ($I = 0.02$ A)。
- ・MOF 床が加熱された後に開始するファン運転時間。

【0316】

5.3.3 動作パラメータの最適化

【362】次の実験では、凝縮時間および脱着温度を最適化した。このために、凝縮時間は、WHC 14～17においてそれぞれ75℃の脱着温度で2時間～5分の間で変化させた。その後、脱着温度を75℃～45℃の間で変化させ、前の実験で決定した最良の脱着時間は、それぞれWHC 18～20であった。

【0317】

【363】

【表11】

表5. 3：採水デバイスの凝縮時間の最適化。異なる凝縮時間にわたって収集された水

WHC	凝縮時間 (分)	収集された水 (mL)
12	120	51.7
14	90	42.8
15	60	37.2
16	30	26.3
17	5	11.2

【0318】

【364】表5. 3および図31は、異なる凝縮時間にわたるデバイスの、収集された水、空時収量および比エネルギー消費を示す。予想されるように、収集された水の量は、より長い凝縮時間に対して、より大きかった。しかしながら、空時収量は、最大30分の低凝縮時間の範囲でより良好であった。これは、脱着段階中に脱着された水の量を吸着するのに必要な吸着時間が著しく短いためであった。5分の非常に短い脱着時間についてのみ、MOF 床から有意な量の水を脱着するのに十分な時間が長くないため、空時収量はより低かった。比エネルギー消費もまた、30分の凝縮時間で極小値を有した。したがって、採水デバイスの最適凝縮時間は30分であると決定された。この凝縮時間に基づいて、最適な脱着温度を次の実験で決定した。

【0319】

【365】

【表12】

表5. 4：採水デバイスの脱着温度の最適化。異なる脱着温度にわたって収集された水

WHC	脱着温度 (℃)	収集された水 (mL)
16	75	26.3
18	65	10.7
19	55	2.9
20	45	0.6

【0320】

【366】表5.4および図32は、異なる脱着温度にわたるデバイスの、収集された水、空時収量および比エネルギー消費を示す。3つのパラメータはすべて、脱着温度が高いほど大きかった。最も重要な因子は、図32に示すような比エネルギー消費であった。エネルギー消費は、エネルギーがMOFおよびヒートシンクを加熱するために使用されたが、水の脱着のためには使用されなかったもので、より低い脱着温度でより大きかった。結論として、エネルギー効率および空時収量に関して最良の解決策は、ファンのスイッチを入れる前にデバイスを75℃に加熱し、30分間凝縮させることであった。

【0321】

【367】採水サイクル16は、最も高い空時収量および最も低い比エネルギー消費を有する実験であった。吸着および脱着の間のこのサイクルの記録データを図33、34および35に示す。

【0322】

【368】図33に示す吸着段階は、50%~70%の間で相対湿度を変化させた等温条件下であった。空気中の水の平均充填量は 11.11 g m^{-3} であった。相対湿度の変化は、実験室内の空調システムおよび屋外の天候によって引き起こされた。最初の高温は、前の採水サイクルからの熱いMOF床およびヒートシンクによって引き起こされた。データロガーをヒートシンクの隣に配置したので、最初の空気は周囲空気よりも高温であった。

【0323】

【369】図34は、脱着段階中の採水デバイス内の温度を示す。33分後にファンのスイッチを入れる前に、MOF床を75℃まで加熱した。MOF床内の温度は、容器内のより高い対流に起因して、ファンのスイッチを入れた後に低下する。最初の低下後、温度はゆっくりと上昇し、ペルチェ素子の電流を53分後に6.0Aに変更して、70℃をわずかに上回る温度を維持した。電流の変化は、MOF床の温度曲線の曲がりおよび ΔT によって示された。 ΔT プロットは、MOF床と凝縮器との間の温度差を示す。この差は、ファンをオンにしたときのより高い対流によって、および53分後の電流変化によって変化する。容器内の空気温度は、ファンのスイッチが入るまでほぼ一定の速度で上昇した。より高い対流はまた、熱がMOF床から容器内の空気中に輸送されるにつれて、より高い空気温度をもたらす。

【0324】

【370】図35は、凝縮器の温度、ならびに、容器内の相対湿度および露点を示す。相対湿度の増加は、MOF床からの水の脱着によって引き起こされた。その後、液体の水が凝縮するにつれて相対湿度が低下し、新しい脱着された水の量も減少する。相対湿度グラフのピークは、湿度計プローブ上の液滴の結果である可能性があり、したがって、議論では無視した。このグラフは、凝縮器温度がシステムの露点より常に低かったことを示す。したがって、水蒸気は凝縮器上で凝縮し、その後収集することができる。実験中に多数の液滴が壁上に形成されたので、デバイスの壁が第2の凝縮器として作用することも観察された。

【0325】

【371】吸着のみを変えて、WHC24と同じ条件下で実験を繰り返し、WHC16の結果の再現性を示した。吸着段階は、前の実験からの脱着された熱いMOF床で開始した。吸着段階の持続時間は、WHC16の空時収量を計算するために使用される理論吸着時間の長さに設定した。したがって、WHC24における吸着時間は2.0時間であり、脱着時間は1.06時間であり、3.06時間の実サイクル時間をもたらした。

【0326】

【372】図36は、WHC24の吸着段階を示す。WHC16と比較して、空気中の水充填量は低く、ちょうど 9.27 g m^{-3} であった。脱着段階の後、25.2mLの水を収集した。これは、 $0.998 \text{ L k g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ の空時収量をもたらした。WHC16と比較して、空時収量は2%ずれる。これは、高い空時収量を有する実験の再現性を実証し、ほとんどの実験において空時収量を計算するために使用される理論吸着時間の計算を確

10

20

30

40

50

認する。

【0327】

【373】図37および38に示すように、MOF床の温度グラフは、WHC16のグラフと良好に一致する。ファンのスイッチを入れた後の温度は、WHC16と比較して次第に遅くなった。このため、WHC24では電流を低下させず、70℃よりわずかに高い温度を維持した。また、 ΔT は、WHC16よりもWHC24の方が高かった。これは、ペルチェ素子とヒートシンクとの間の熱伝導性に影響を及ぼすWHC20の後のヒートシンクとペルチェ素子との間の熱グリースの交換によるものであった。

【0328】

【374】さらに、2回の採水サイクル、WHC21および22を、吸着段階の間、非常に乾燥した条件下で、同じ乾燥日（08/03/2019、Melbourne（AUS））に行った。相対湿度は25%～30%であり、温度はわずかに約20℃であった。空気中の平均水充填量は 5.50 g m^{-3} であった。図39は、WHC22の吸着段階を示す。WHC21およびWHC22の実験は、低い相対湿度が、同じ量の水を吸着するためにはるかに長い吸着時間をもたらすことを示した。吸着時間が一定であったので、吸着された水の量は、より高い相対湿度と比較して低かった。結果として、WHC21および22における採取された水の量は、前のサイクルにおけるよりも低く、WHC21および22についてそれぞれ $0.120 \text{ L k g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ および $0.274 \text{ L k g}^{-1} \text{ d}^{-1}$ の空時収量であった。これは、それぞれ88%および73%の偏差であった。それにもかかわらず、これらの結果は、採水デバイスが依然として非常に乾燥した砂漠のような条件で機能することを実証している。

【0329】

【375】最後に、図40は、図1C～図1Eに示す温度スイング採水装置300を使用するプロトタイプの水捕捉装置800の2つの図を提供する。図40（A）は、制御パネル808によって作動される水分配出口805を含む外部ハウジング802を示し、図40（B）は、内部構成要素を示し、これは、水吸着剤の中および上への大気の流れを生成するためのファン810およびルーバーシステム820を本質的に示し、すなわち、ファンが動作され、ルーバーシステム820のルーバーを枢動開放し、空気が、ヒートシンク（図40に図示せず）の中に充填された装置内のMOF吸着剤の充填床（図40に図示せず）の上および中を通して流れることを可能にし、ファンが非アクティブであるとき、ルーバーシステム820のルーバーは、閉鎖環境を生成するように閉鎖され、採水サイクルの脱着段階および凝縮プロセスが、閉鎖／密封環境で行われることを可能にする。

デバイス間の比較

【0330】

【376】以下の表5.8は、本発明の実施形態に従って本研究で開発された採水デバイスと、発明セクションの背景で説明したYaghiのMOFベースの採水デバイスとの比較を提供する。 STY_{device} は、デバイスの容積に関する空時収量である。 X_{min} は、環境条件、すなわちMOF吸着剤上に供給される空気の湿度（最小水分）の尺度を提供する。

【0331】

【377】

10

20

30

40

50

【表 13】

表 5. 8 : 本研究で開発された採水デバイスと他のMOFベースの採水デバイスとの比較

デバイス	出力 (L / 日)	エネルギー消費 (kWh / L)	X_{min} (g m ⁻³)	STYデバイス (L / m ³ / d)	MOFの質量
Yaghiプロトタイプ*	0.078	日光	4.6	1.77	825
本発明の誘導デバイス (実施例 1)	0.23	10.4	9.7	~0.05	28
本発明のペルチェ素子 (高 RH) (実施例 3)	0.202	2.75	9.3	4.59	~200
本発明のペルチェ素子 (低 RH) (実施例 3)	0.054	7.92	5.5	1.23	~200

*F. Fathieh, M. J. Kalmutzki, E. A. Kapustin, P. J. Waller, J. Yang, および O. M. Yaghi. 「砂漠の空気からの実際的な水生成」。 In : Science Advances 4, 6 – (2018)。

【0332】

【378】比較は、本発明の誘導およびペルチェ素子水捕捉装置の試験された実施形態の両方が、Yaghiデバイスと比較してより良好な水出力を有することを示す。

【0333】

【379】当業者は、本明細書に記載される本発明が、具体的に記載されるもの以外の変形および修正を受けやすいことを理解する。本発明は、本発明の精神および範囲内に入るすべてのそのような変形および修正を含むことが理解される。

【0334】

【380】用語「含む (comprise)」、「含む (comprises)」、「含まれる (comprised)」または「含んでいる (comprising)」が、本明細書 (特許請求の範囲を含む) において使用される場合、それらは、述べられた特徴、整数、工程または成分の存在を特定するが、1つ以上の他の特徴、整数、工程、成分またはそれらの群の存在を排除しないと解釈されるべきである。

10

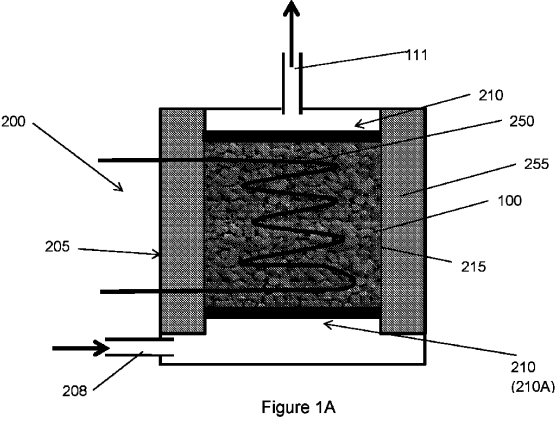
20

30

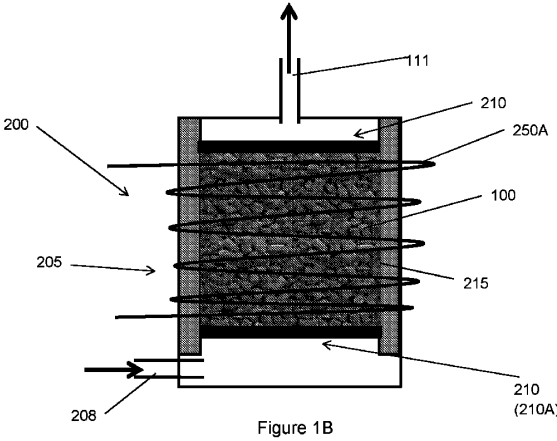
40

50

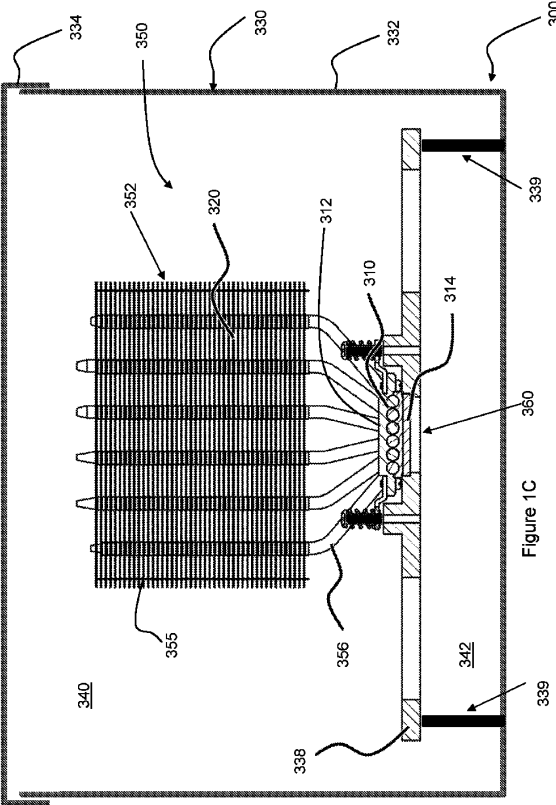
【図面】
【図 1 A】



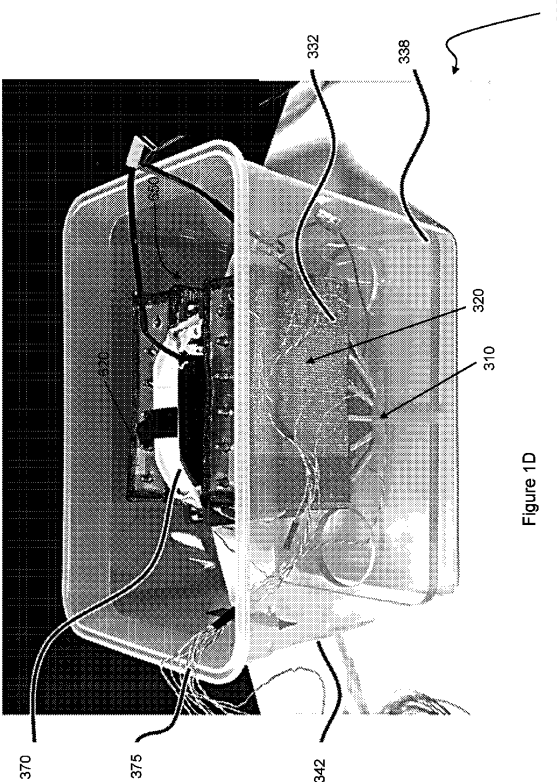
【図 1 B】



【図 1 C】



【図 1 D】



10

20

30

40

50

【図 1 E】

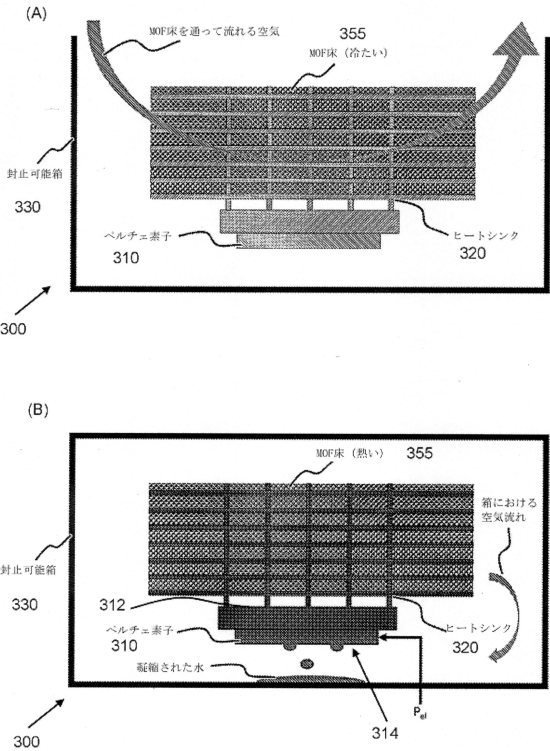


Figure 1E

【図 2 A】

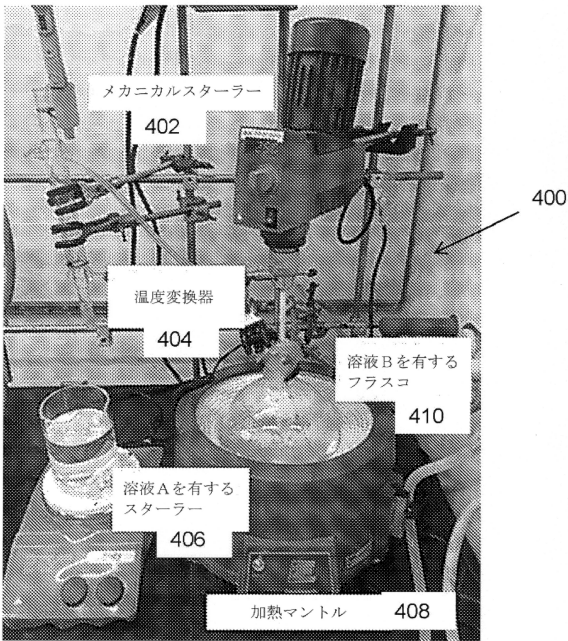


Figure 2A

【図 2 B】



Figure 2B

【図 2 C】

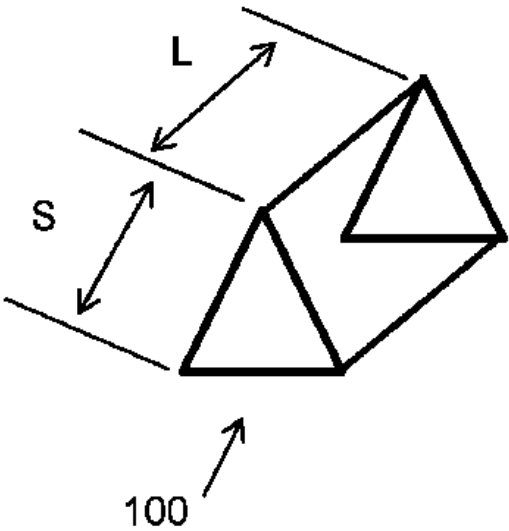


Figure 2C

10

20

30

40

50

【図 3 A】

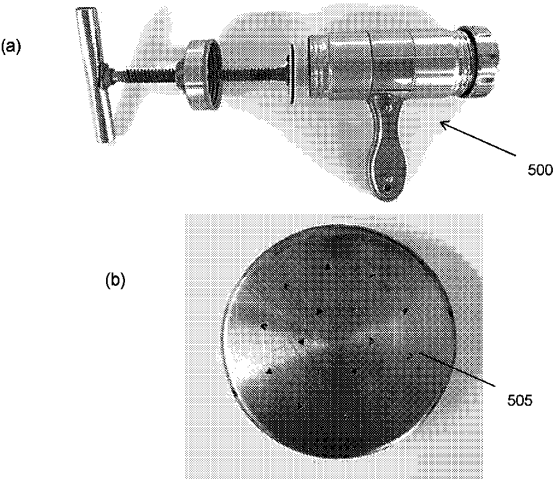


Figure 3A

【図 3 B】

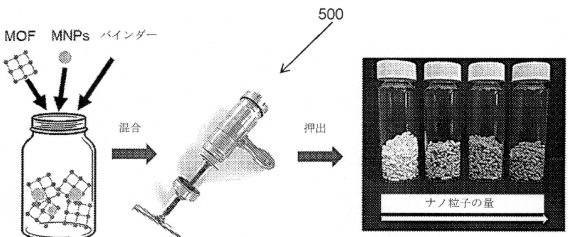


Figure 3B

【図 4】

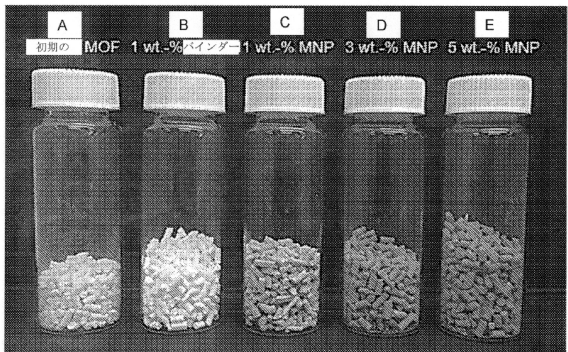


Figure 4

【図 5】

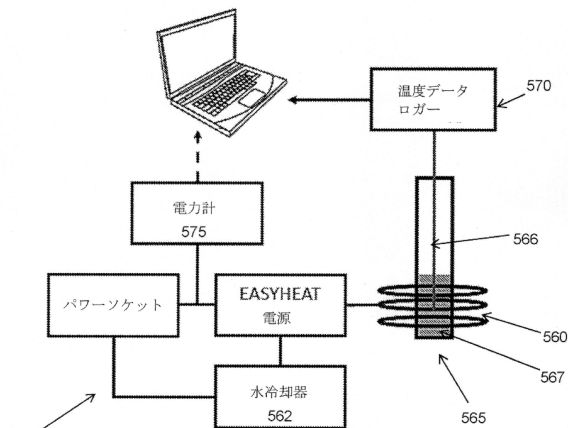


Figure 5

10

20

30

40

50

【図 6】

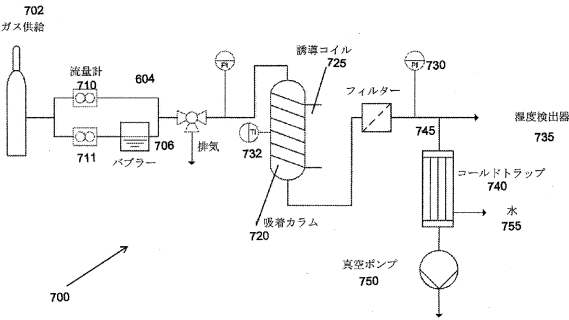


Figure 6

【図 7】

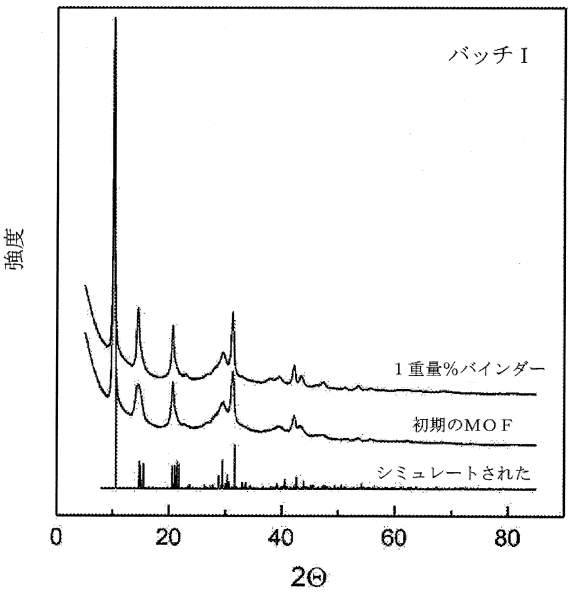


Figure 7

【図 8】

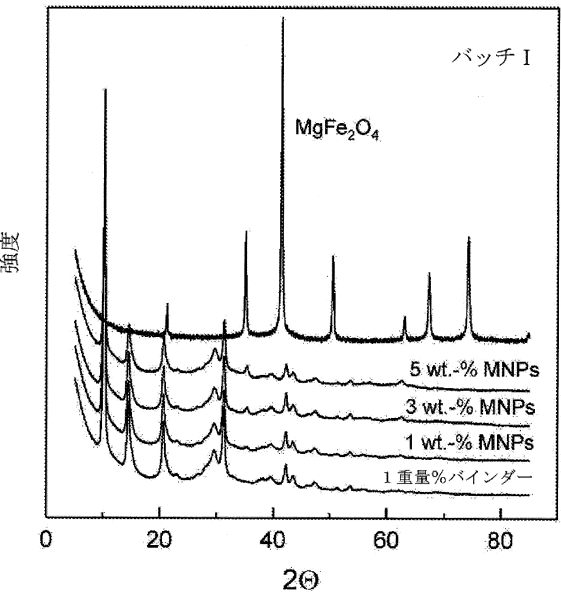


Figure 8

【図 9】

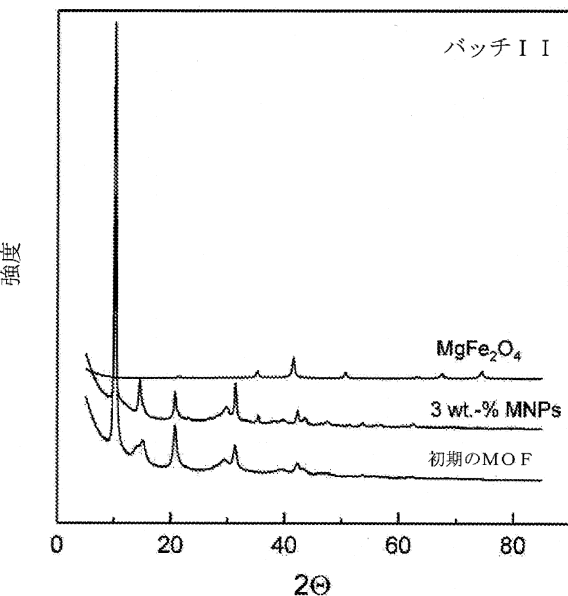


Figure 9

【図 1 0】

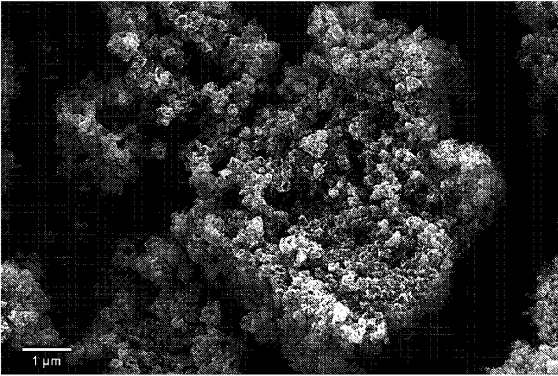


Figure 10

【図 1 1】

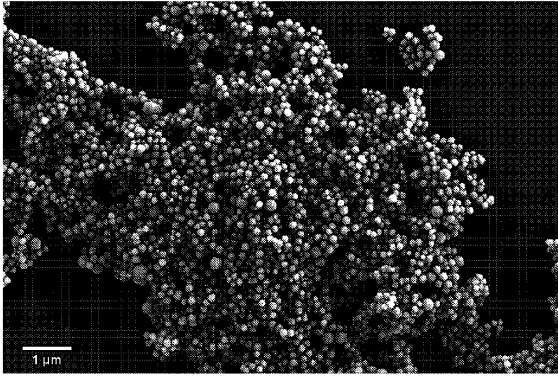


Figure 11

【図 1 2】

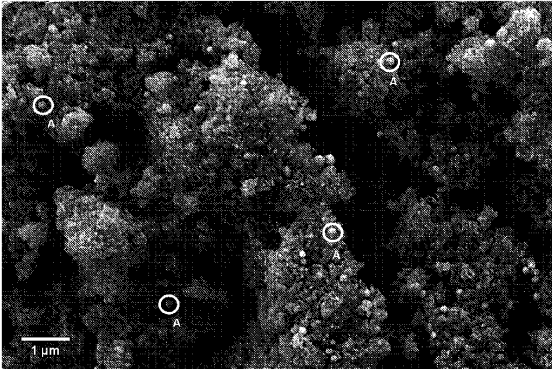


Figure 12

【図 1 3】

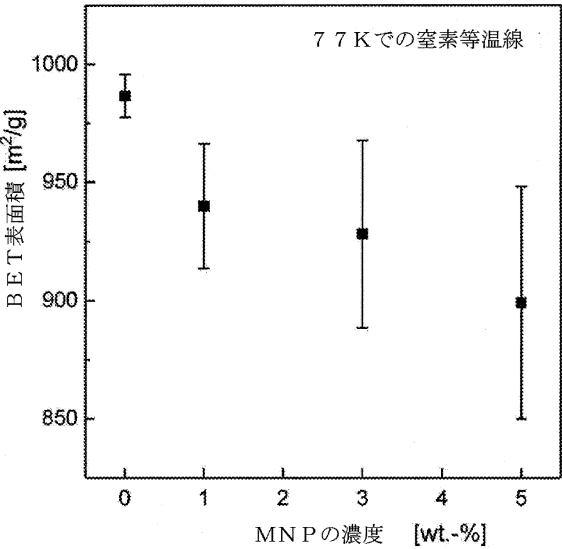


Figure 13

10

20

30

40

50

【図 1 4】

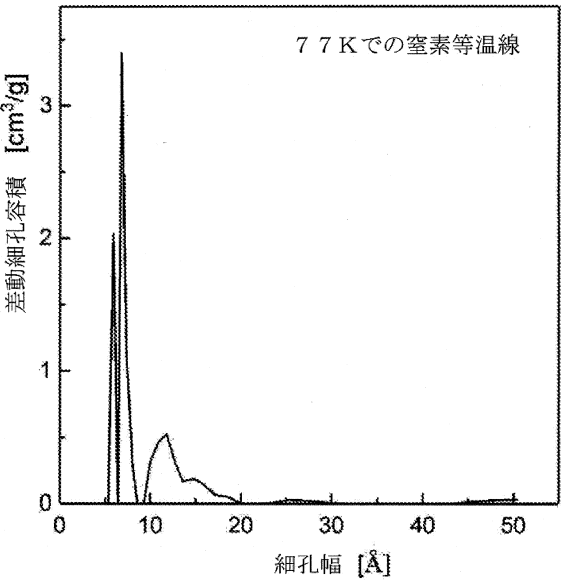


Figure 14

【図 1 5】

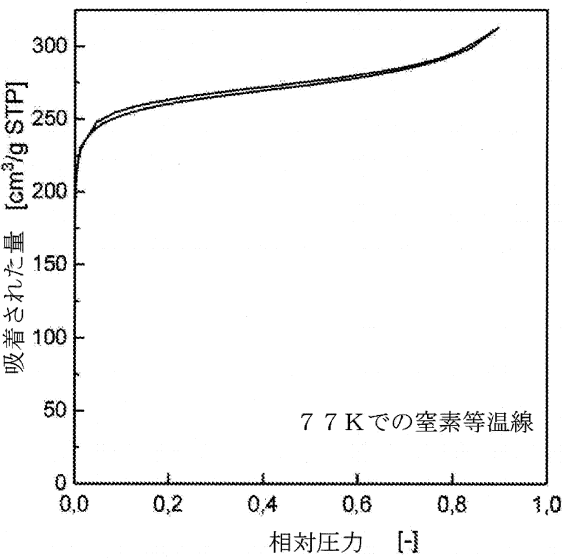


Figure 15

【図 1 6】

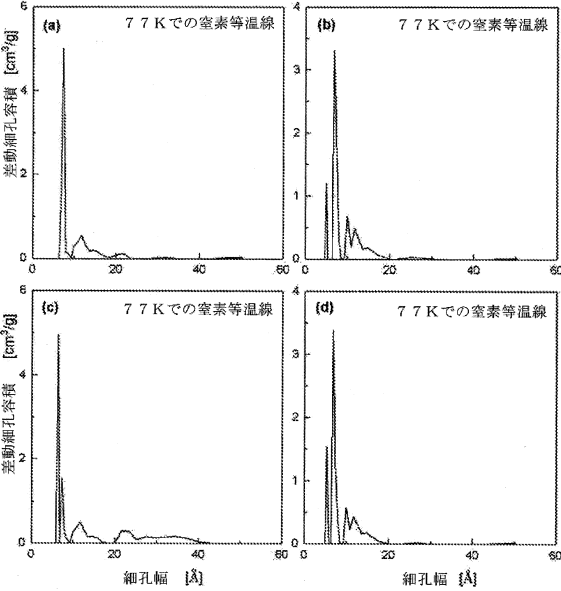


Figure 16

【図 1 7】

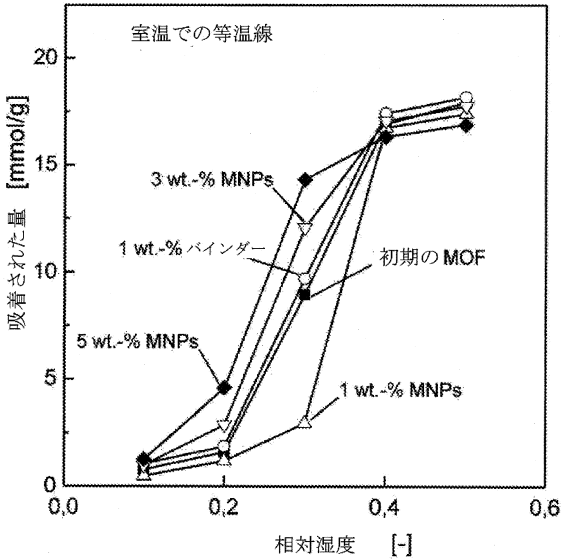


Figure 17

10

20

30

40

50

【図 18】

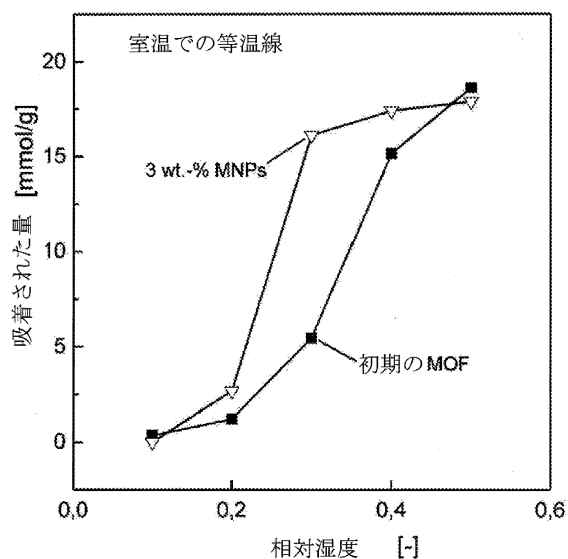


Figure 18

【図 19】

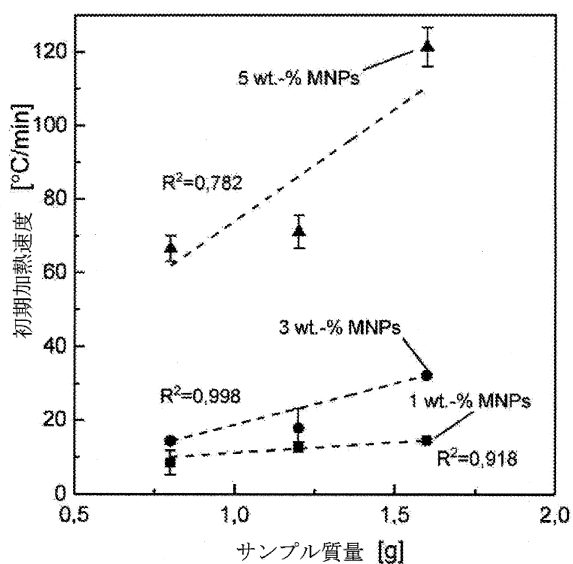


Figure 19

【図 20】

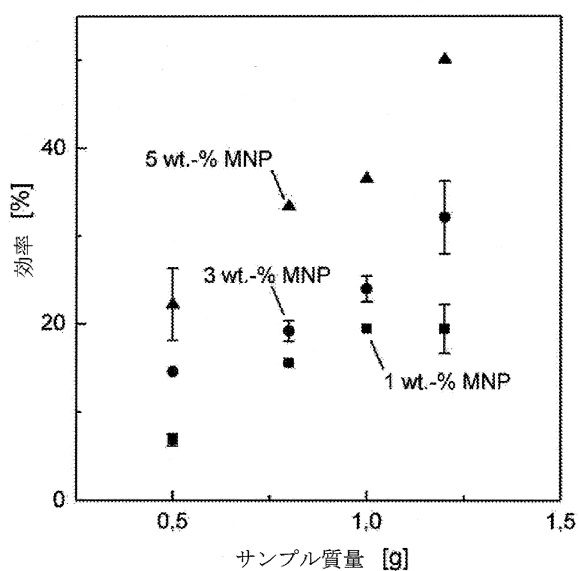


Figure 20

【図 21】

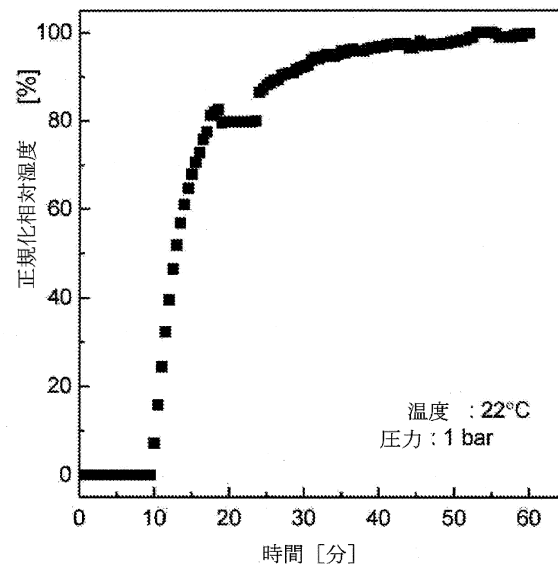


Figure 21

10

20

30

40

50

【図 2 2】

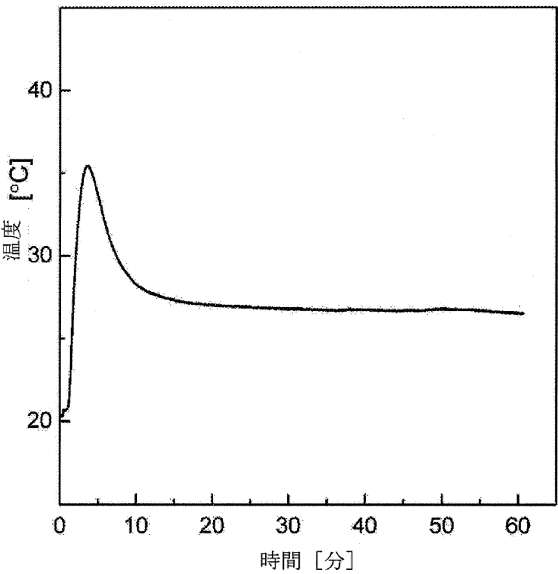


Figure 22

【図 2 3】

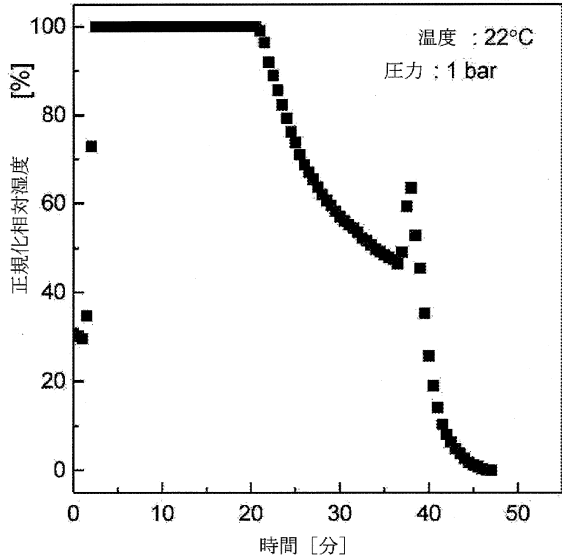


Figure 23

【図 2 4】

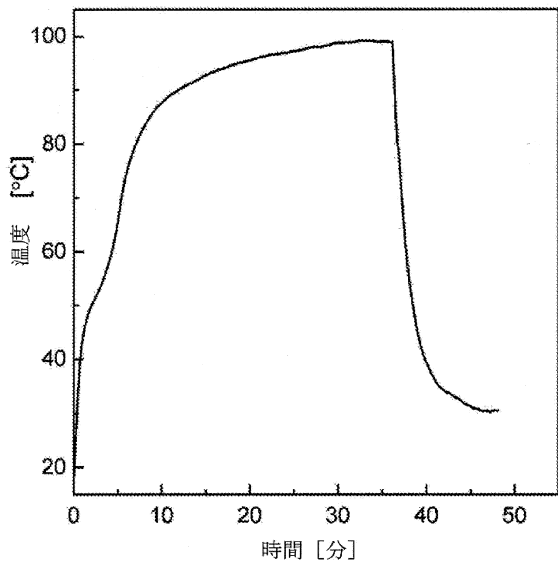


Figure 24

【図 2 5】

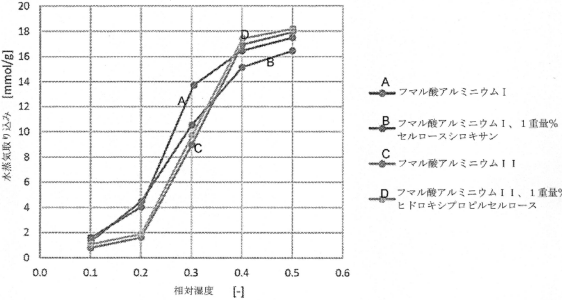


Figure 25

10

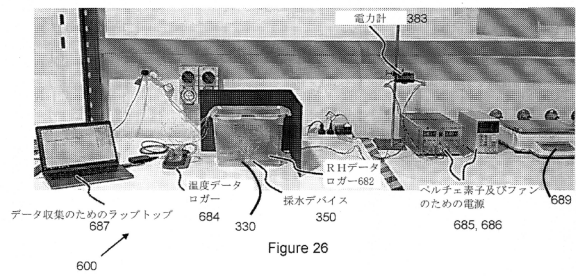
20

30

40

50

【図 2 6】



【図 2 7】

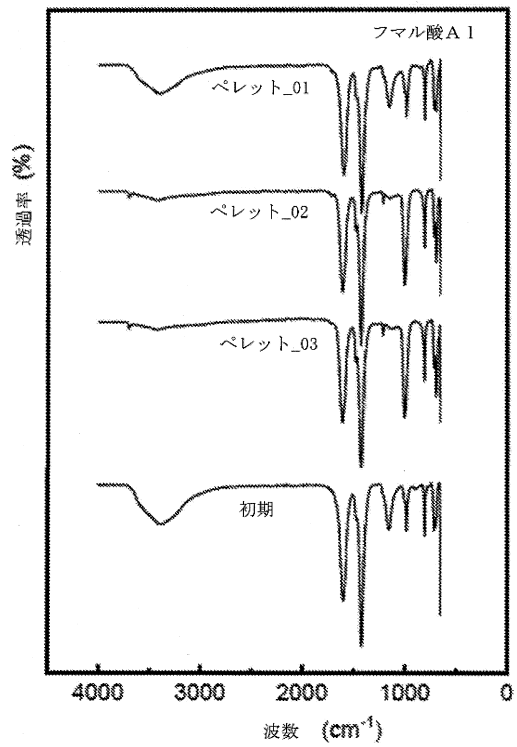


Figure 27

【図 2 8】

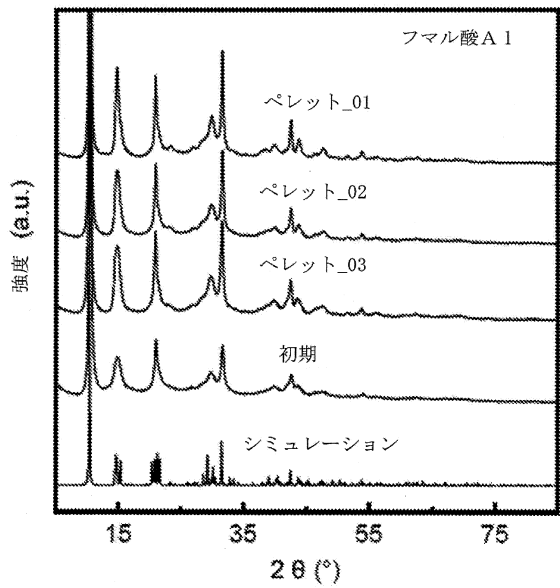


Figure 28

【図 2 9】

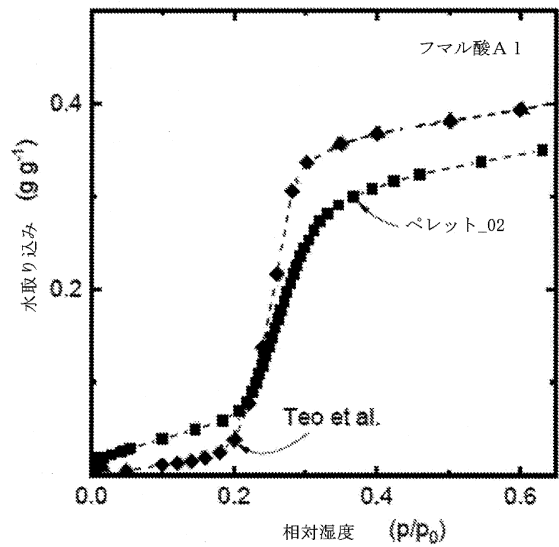


Figure 29

10

20

30

40

50

【図 3 0】

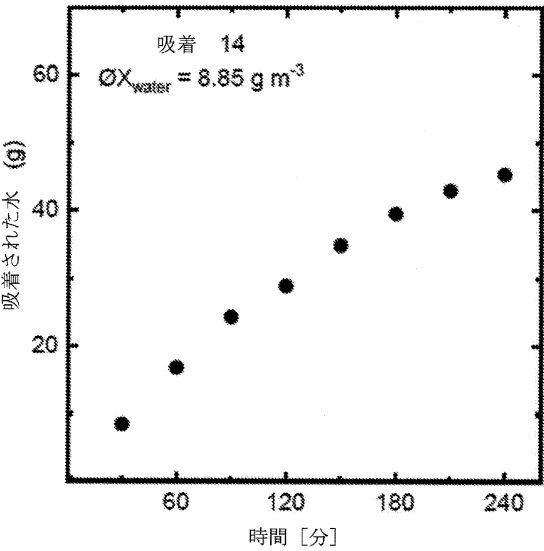


Figure 30

【図 3 1】

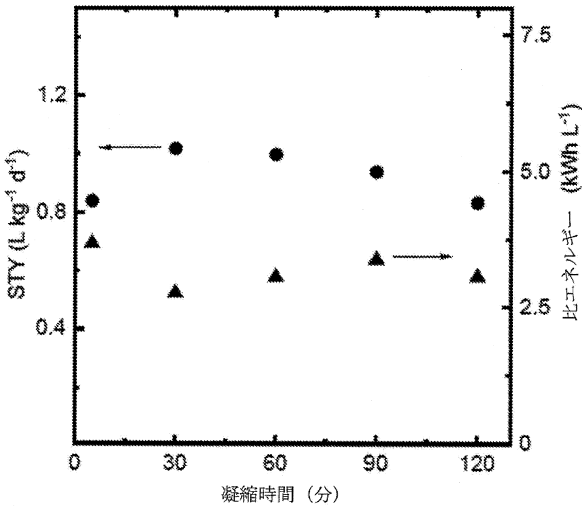


Figure 31

【図 3 2】

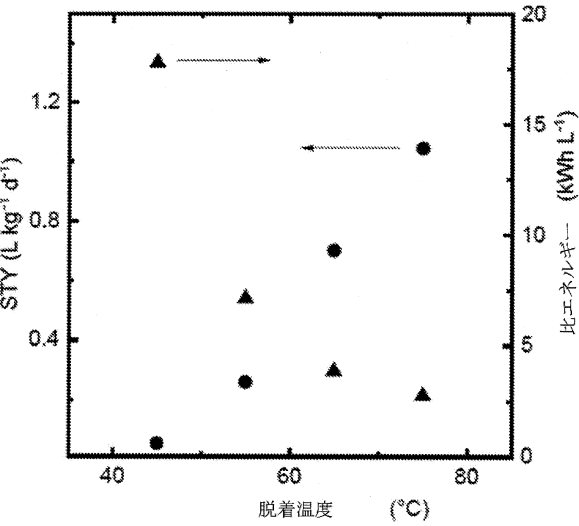


Figure 32

【図 3 3】

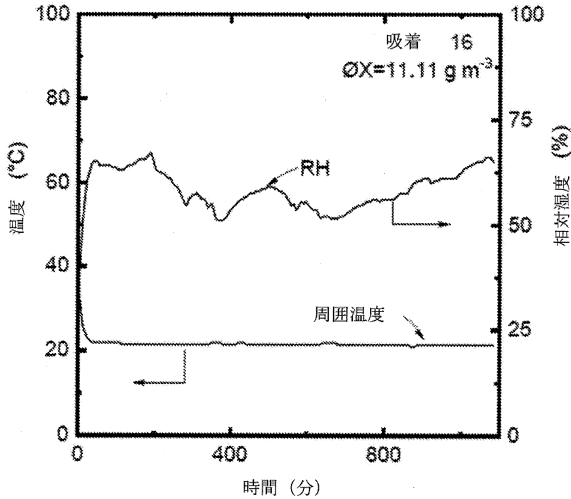


Figure 33

10

20

30

40

50

【図 3 4】

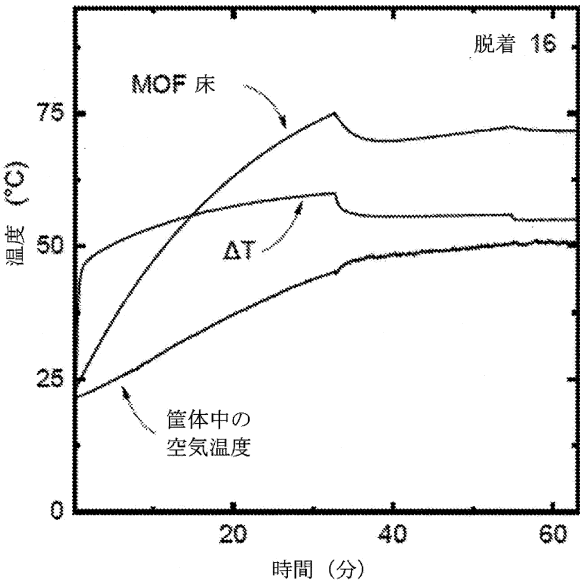


Figure 34

【図 3 5】

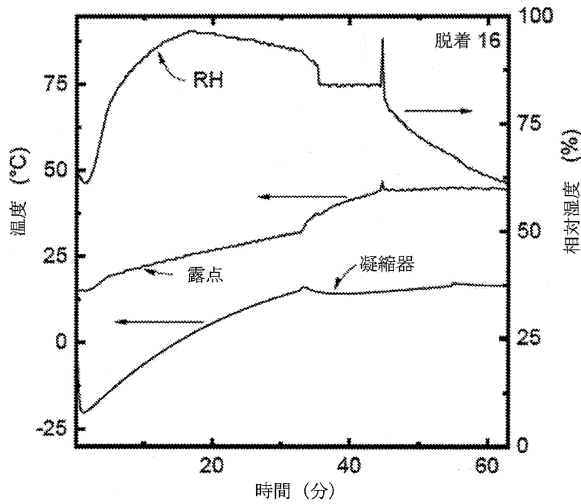


Figure 35

【図 3 6】

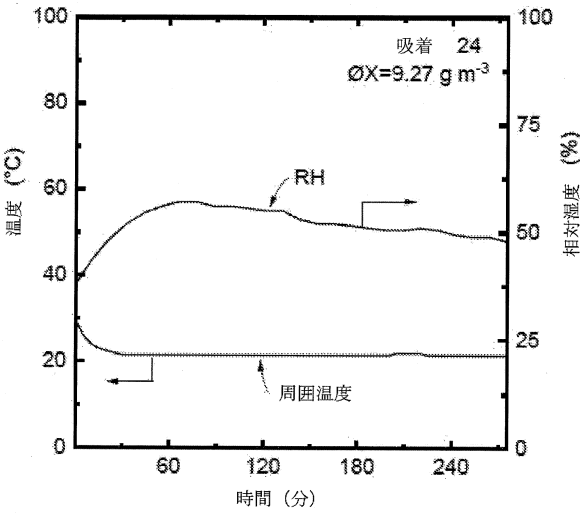


Figure 36

【図 3 7】

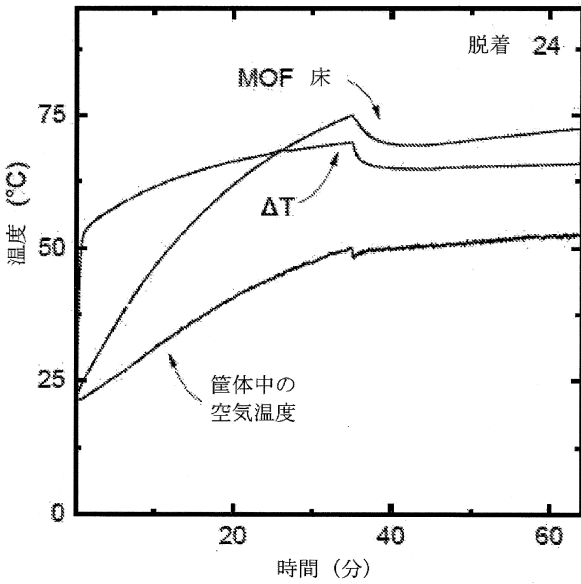


Figure 37

【図 3 8】

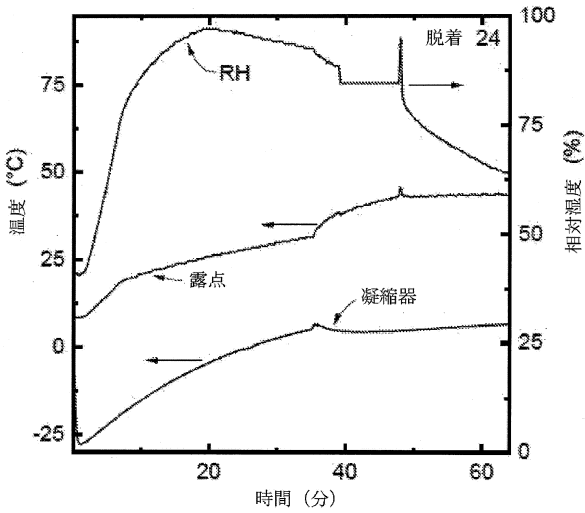


Figure 38

【図 3 9】

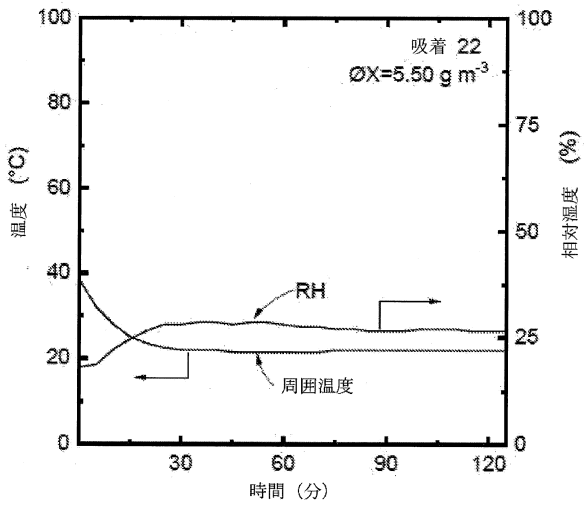
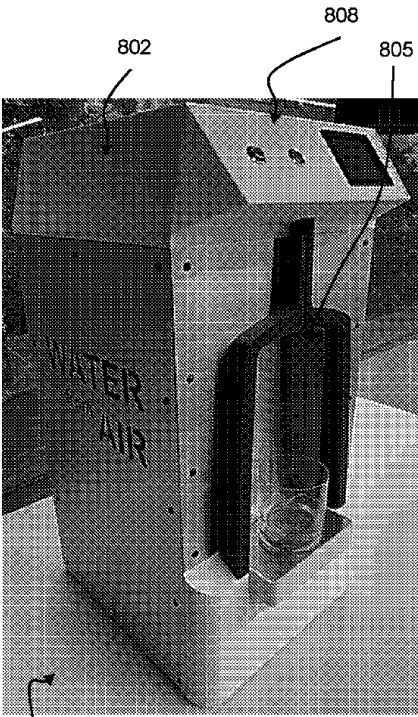


Figure 39

【図 4 0 (A)】



(A)

【図 4 0 (B)】



(B)

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- リアン・キャピタル・テリトリー・アクトン・クルーニーズ・ロス・ストリート・（番地なし）
- (72)発明者 クリスティナ・コンスタス
オーストラリア・２６０１・オーストラリアン・キャピタル・テリトリー・アクトン・クルーニーズ・ロス・ストリート・（番地なし）
- (72)発明者 アーロン・ソーントン
オーストラリア・２６０１・オーストラリアン・キャピタル・テリトリー・アクトン・クルーニーズ・ロス・ストリート・（番地なし）
- (72)発明者 マティアス・ヘッセルマン
オーストラリア・２６０１・オーストラリアン・キャピタル・テリトリー・アクトン・クルーニーズ・ロス・ストリート・（番地なし）
- (72)発明者 ステファン・ヘルマン
オーストラリア・２６０１・オーストラリアン・キャピタル・テリトリー・アクトン・クルーニーズ・ロス・ストリート・（番地なし）
- 審査官 小久保 勝伊
- (56)参考文献 国際公開第２０１８／１１８３７７（ＷＯ，Ａ１）
特表２０１９－５０４２７１（ＪＰ，Ａ）
特表２００９－５３４３４８（ＪＰ，Ａ）
特表２０１４－５１６３３４（ＪＰ，Ａ）
中国特許出願公開第１０４４９２３９８（ＣＮ，Ａ）
Magnetic Framework Composites for Low Concentration Methane Capture, Muhammad M. S. et.al. ,Ind. Eng. Chem. Res., 2018,57,6040-6047
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B名)
B 0 1 D 5 3 / 2 6
B 0 1 J 2 0 / 2 2
B 0 1 J 2 0 / 3 4
B 0 1 D 5 3 / 2 8
H 0 5 B 6 / 0 2